はじめに

中小企業事業団では、中小企業庁が進める国の重要施策である、中小企業のための数々の施策を実施しています。

さて、中小企業事業団では、平成10年度「ものづくり人材支援基盤整備事業」において、技術・技能の客観化、マニュアル化等を行うことが、技術・技能の継承を図る上で重要と考え、それらを必要とする業界を対象に、「平成10年度ものづくり人材支援基盤整備事業一技術・技能の客観化、マニュアル化等一工業計器の保全マニュアル」を作成いたしました。

最近の中小製造業の現場では、熟練技術者・技能者の高齢化が目立ち、退職後の製造現場の能力の維持等が問題となってきています。

これは、熟練技術者・技能者、その個人の持つ技術・技能を後継者に伝承することにより、解決されうるものでありますが、その伝承、継承には訓練が伴い、適切な指導を行える指導者と時間が必要であります。

そこで、業界団体を通じて各中小企業者に本件を有効に活用頂き、技術・技能を継承するべき若年層等の人材の確保・育成の一助になれば幸いに存じます。

なお、本書の作成にあたり、ご協力を頂きました関係者各位に厚く御礼申し上げます。

平成11年5月
中小企業事業団
情報・技術部
部長　野元　浩

ま　え　が　き

わが国の経済は長引く景気低迷、金融システムの不安、失業率の上昇など、かつてない厳しい状況が続いている。とくに、わが国の経済を支える中小企業の経営環境は国際的な競争の激化、下請分業構造の変化などで危機に面している。各方面に浸透しつつあるグローバリゼーションの中で、経済が再び活力を取り戻すには、「ものづくり」を通じて産業発展の基盤となっている中小企業の体質を強化することが重要である。

21世紀に向けて、経済構造改革に対応できる中小企業を育成するための中小企業政策も打ち出されている。通商産業省・中小企業庁が打ち出した新しい中小企業政策は、設備の近代化というハードの支援から、情報化、人材育成などのソフトな経営資源に対する支援に重点を移してきた。最近、「ものづくり」の現場は優れた技術・技能の継承、若年層の製造業離れなどの問題が深刻化してきている。こうした製造業を取り巻く危機的な状況を克服するために、「ものづくり基盤強化」のためのさまざまな施策を強化している。

具体的な内容の一つが、中小企業事業団が運営主体となっている「ものづくり人材支援基盤整備事業」である。この整備事業の一環として、「ものづくり」の現場の中核を担っている工業計器のマニュアル化を取りあげて受託事業として行った。

「ものづくり」の上で、現在最も大きなウエートを占めているのが職人の技能である。これら技能者の育成を活発強化して、高品質、高効率の「ものづくり」に対応することが要求されてきている。この時代の要求を具現化する格好で、国際技能振興財団によりマネジメントまで習得できる、高度でしかも実践的な人材を育成する“職人大学”が生まれようとしている。ここでも、計器に関するメンテナンスに相当なウエートを置くカリキュラムになる構想である。

今回取りあげた工業計器は、「ものづくり」の現場で多く使われている温度検出端、圧力（差圧）発信器、差圧流量計、面積流量計、容積流量計および調節弁である。技能内容については、いわゆる定修時の作業項目、アイソレーション、取外し、分解・点検・組立て、修理・交換、校正・調整、取付け、リストレーションを中心に、単なる手順・方法だけでなく、なぜそうしなければならないかという具体的な根拠まで記述し、若年層の研修に適した資料になっている。とくにアイソレーション、リストレーションについては、最近、現場でトラブルの多いところなので、意識して取り上げた項目であり、本マニュアルの最も大きな特徴になっている。

終りになりましたが、本マニュアル作成に多大なご指導・ご協力をいただきました通商産業省、中小企業事業団および資料の提供をいただいた関係者の方々に厚く御礼申しあげますとともに、本マニュアル作成に携わった各位に心から感謝の意を表する次第である。

平成11年２月

日本メンテナンス工業会
マニュアル作成委員会
委員長　川端　一正

日本メンテナンス工業会
「工業計器の保全マニュアル」作成委員会委員名簿

委員長	川端　一正	旭テクネイオン(株)　理事　技術管理室長
副委員長	安部　勝一	富士電エンジ(株)　技術本部　業務部主幹技師
主　査	二宮　公重	東芝電機サービス(株)　技術管理部参与
副主査	大野　謙次	富士電エンジ(株)　技術サポートセンター　技衝管理部技師
委　員	松崎　隆保	新潟工事㈱取締役　技術統括部電気計装担当部長
〃	坂井　　弘	(株)日鉄エレックス　君津支店　整備部計装保全課部長代理
〃	朝山　正義	旭テクネイオン(株)　ME 事業本部技術室長
〃	朝井　　誠	(株)三興製作所　技術本部エンジニアリング部電計課課長
〃	石田　　稔	山武産業システム(株)営業本部フィールド Eng. 課長
〃	小野　勝利	エヌケイエス(株)営業企画推進室係長
事務局	石井　義孝	日本メンテナンス工業会　理事・事務局長
〃	得能　英勇	日本メンテナンス工業会　顧問
〃	安河内　修	日本メンテナンス工業会

目　　次

「工業計器の保全マニュアル」

・まえがき

第１章　概　要
　1.1　プロセス制御の概要 …………………………………… 6
　1.2　プロセス制御を構成する機器 ………………………… 9
　1.3　工業計器の保全概要 …………………………………… 42
　1.4　トレーサビリテイ ……………………………………… 43

第２章　フィールド機器の保全
　2.1　温度検出端 ……………………………………………… 46
　2.2　圧力（差圧）発信器 …………………………………… 60
　2.3　差圧流量計 ……………………………………………… 71
　2.4　面積流量計 ……………………………………………… 82
　2.5　容積流量計 ……………………………………………… 90
　2.6　調節弁 …………………………………………………… 103

〔参考・引用文献〕

第１章
概　要

1.1　プロセス制御の概要

1.1.1　プロセス制御とは

読んで字のごとく、プロセス・プラントを知ってその目標（目的）に向けてコントロールすること。もう少し工業的にいいかえると、原料やエネルギーを取り込み一定の質の製品またはエネルギーを作り出す過程、すなわちプロセスに関する制御方式一　般を指す。最大の関心は出来上がった製品の質である。この製品の質を維持するために温度、圧力、流量などを一定の目標値に保つことが大事である。つまり大量生産が目的であれば、外乱などの変動をある程度吸収することが制御の主要な役割である。

プロセス制御はプラント類の自動化の旗頭であった.

昔は定置制御が中心であったため、航空機や人工衛星の制御技術に遅れを取ってきた。しかしながら今、電子化という急速な技術の流れと、多串種少量生産、および省力化を要求する社会の流れの中、制御理論や制御の手法も大きく変容しつつある。

そのひとつは分散制御システムを用いたプロセス規模の制御への挑戦であり、もうひとつは省力化を目的としたエキスパート・システムの導入である。

これからも、これに至る経過をたどりながら、現在のプロセス制御の問題点や、これからの方向が示されてくるものと考えられる。

ここに制御理論のベースとなったPID制御の枕要を紹介し、またそれを構成する機器、そしてこれらを維持、管理をするためのメンテナンス手法を紹介する。

1.1.2　プロセス制御の例

PID制御

この制御方法は、プロセス・プラント制御理論の基礎といわれている。現在でも多種のプラント類に適用されている。

(1)　Ｐとは比例＝Proportional動作のこと。（比例動作という）

たとえば、フロート弁による液面制御の例を図1.1.1と1.1.2で説明する。水は制御バルブ１を通って槽２へ流れ込んでいる。槽２からは手動バルブ３を通って水が流れ出ている。槽２にはフロート４が浮かんでいて、フロート４と制御バルブ１は、リンク５，６を介してつながっている。

今何らかの理由で槽の水面が上昇したとすると、それに伴ってフロート４の上昇の動きが５と６を介して１に伝わり、１が閉まって槽に流入する水の量が少なくなる。こうやって槽の水面はL1の位置（設定値という）に保たれる。すなわち制御されることになる。

この制御では、フロートの動きとバルブの動きがリンク6Aと6Bとの関連だけで比例的に定まっている。測定値(PV)とプロセスの設定値（SP）とのずれ、つまり偏差値（e）と操作量(mv)との間には、

$$mv = K_p e(t),\ K_p = \frac{A}{B}$$

の関係式が成り立つ。このように偏差に比例して操作量が（演算結果として）得られる制御を比例制御という

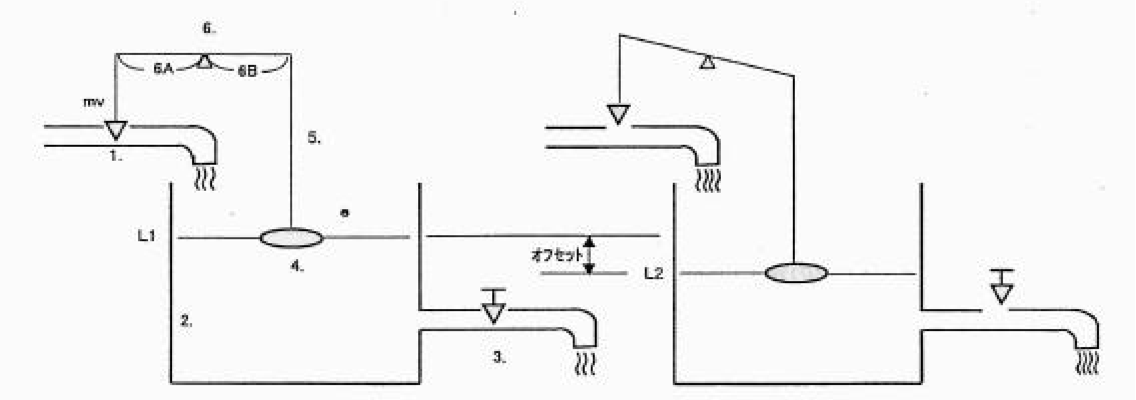


図1.1.1　フロート弁による液面制御　　　図1.1.2　外乱が与えられた時の液面制御

ここで次のＩ（項分動作）を説明する前に、図1.1.1で水面がある位置(L1) に制御されているとする。そこに誰かがやってきて、出口の手動バルブ3を少し開けてしまったとする。（これはプロセスに対しての一つの外乱である)。

水槽から出ていく水の量が増加するため、当然水面（フロート4）が下がって制御バルブ１は開き、手動バルブ３から出ていく水量と同じ水量が制御バルブ１を通るようになった所で水面の下降が止まってフロートが停止する。

これが、図1.1.2の状態である。このとき水面(L2) は結果としてL1より低い位置で安定することになり、その後時間が経過しても水面がL1 まで回復することはない。

これから分かることは、比例動作だけでは、プロセスに外乱が入り込んできた場合にプロセス変数を設定値に保つことができず、最終的には設定値からずれた所でプロセス変数が安定してしまうということである。

言葉を変えれば「外乱（ここでは出口流量の増加)」をちょうど打ち消すのに必要な操作量（入り口制御弁の開度の増加）を得るためには、その操作量を生み出すのに見合う偏差（L1からL2迄の液面の下降）が得られる所でプロセス変数を安定させざるを得ないということである。このように比例制御だけではどうしても発生してしまう偏差（L1 と L2 の差）をオフセット(offset)と呼んでいる。

(2) Ｉとは積分＝ Integral 動作のこと。（積分動作という）

Ｐ動作の所で述べたオフセットを解消するエースとして活躍するのが積分動作である。積分動作とは簡単にいえば、過去に発生してきた偏差の積分値＝積算値（偏差の曲線が囲む面積）を０とするように働く動作である。少しわかりにくいので図 1.1.3 で説明をする。

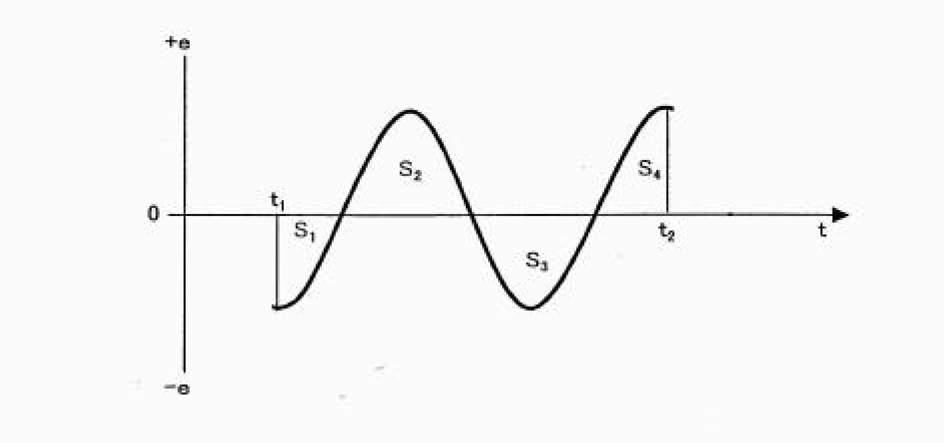


図 1.1.3　積分動作の説明

ある制御が図 1.1.3の時間 t1 に開始され、その偏差が図のように変化したとき、t2 において得られる積分動作による操作量の大きさは、

$$m\,v = K_I \int e(t)\,dt \quad (t = t_1 - t_2)$$

の式で表される。この式を図 1.1.3 の面積を用いて表現すれば、

$$m\,v = K_I (S_2 - S_1 + S_4 - S_3)$$

となる。

積分動作は偏差が存在する限りそれをなくす方向に働き続けるので、その結果最終杓にはオフセットは解消されることになる。したがって比例動作に積分動作が加わること（これをP＋Ｉ動作という）で、偏差のない制御が実現する。すなわち、Ｉ動作を「自分の過去の過ち（エラー）をプラス・マイナスで

チャラにするような動作」と考えてもらえればよい。
　オフセットをなくすという意味で、工業的には積分動作のことをリセット〈Reset）動作と呼ぶ。
(3)Ｄとは微分＝Dedvative動作のこと。(微分動作という）
　Ｐ動作またはＰ＋Ｉ動作でプロセス・プラントの制御のかなりのものに対応することができるが、たとえば、プラントでの加熱炉（ファーネス）のように、無駄時間があったり、制御に対し反応が遅いプロセスではＰ＋Ｉ動作だけでは良好な制御や満足な応答性が得られない場合が多くある。これは、Ｐ動作は現在の制御の様子（偏差の大きさ）に対応しているだけであり、Ｉ動作は今までの（過去の）制御の様子（偏差の積算値の大きさ）に対応しているだけであるところに限界がある。そこで現時点での、未来に向けての傾向に対処するためにＤ動作（微分）が導入される。
　微分動作による操作量の大きさは

$$m\,v = K_D \frac{de(t)}{dt}$$

で表され、その時点での偏差の（増加の、また減少の）時間的変化率（やさしくいえば、将来に向かって今どちらの方向にどれ位の早さで変化しつつあるのか）の大きさに比例する。この時間的変化率を図1.1.4で説明する。
　時間t3におけるその値は（＋A″/A′〉であり、時間t4でのその値は（－B″/B′）である。したがって、D動作を導入すれば、今起きつつある現象から将来発生するであろう偏差を（結果を待つ前に）予測してそれに対応する（それを予め打ち消すような）制御ができる。すなわち、プロセスがある方向にエラーを犯しそうになったときに、微分動作がそれを必死になって抑えにかかると思えば良い。このような微分動作をレート(Rate）動作と呼ぶ。

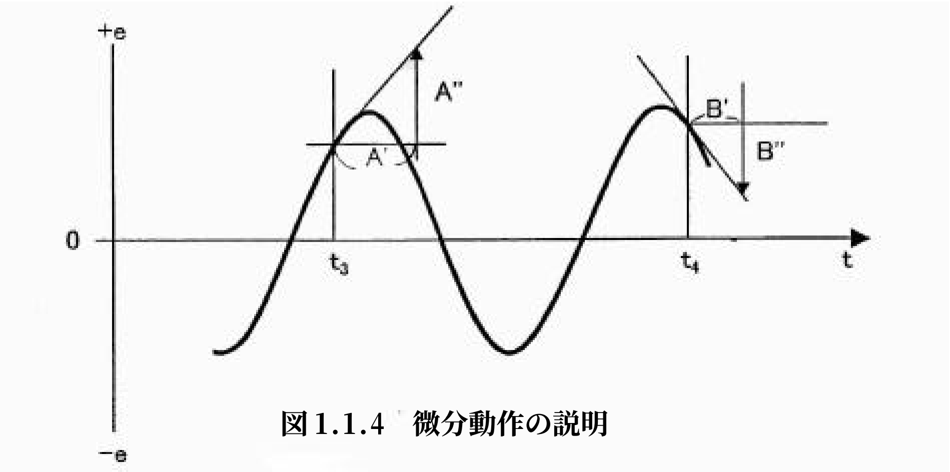


図1.1.4　微分動作の説明

以上、P動作，Ｉ動作，D動作を説明してきた。
　一般的にこの３動作を式でまとめると、ＰＩＤ動作式として表すことができる。

$$m\,v = \frac{100}{P_B}\left(e(t) + \frac{1}{T_i}\int e(t)\,dt + T\frac{de(t)}{dt} \right)$$

　この式でPBは比例帯(%)、Tiを積分時間、Tdを微分時間と呼んでいる。比例帯が狭い程感度（よくゲインと呼ぶ）が高く、積分時間が短いほど積分の効果が大きい。積分の効果については時間の逆数（リピート／分）でその強さを表すのが一般的であり、微分の効果についてはそのまま時間の単位で表す。
　ここで、実際のプラントではこのＰ動作，Ｉ動作，D動作を選択する訳であるが、ごく一般の圧力、流量、液面の制御にはＰ＋Ｉ動作を使えば大体はことが足りる。また、Ｐ＋Ｉ＋D動作を適用する場合は特殊なケース、普通は温度の制御に用いるに止めておけばことは済むと考える。
　以上、制御の代表例を紹介した。

1.2　プロセス制御を構成する機器

制御システムを構成する機器の役割とその機能について説明する。

1.2.1　センサの定義

センサとは何か。社団法人日本電気計測器工業会規格 JEMIS 024 － 1984 によれば、

①検出器：物理または化学的原理に基づき、諸量の検出を行うが、得られる出力信号に特別な加工を施しているもの。たとえば、熱電対、測温抵抗体、オリフィスなど。

②変換器：諸量の検出を行い、生ずる電気信号や機械変位に加工を加え、測定に便利な出力信号として取り出せるもの。

となっているが、最近は技術の流れにより、インテリジェントセンサという検出器と変換器を合わせたものに、マイクロプロセッサの搭載により、種々の演算によって特性向上や機能向上を図ったものも出てきている。そのため、プロセス用センサの一般的な定義としては、検出器と変換器を合わせたものとする。

1.2.2　検出端

本部分は、プロセス制御の基礎といわれるセンサである。このセンサは次のような特性を持っていなくてはならない。またそれが維持されることが大切である。

①安全性

安全性には２つの側面がある。ひとつはセンサ自体の破損などにより直接の事故が起こらないこと。もうひとつは検出値に関して信頼性の高い情報を提供することである。

②耐久性

センサには寿命があるが、当然破れにくい、疲労（へたり，クリープ）しにくいものでなくてはならない。

③耐食性、耐磨耗性

センサの材質を侵すものに、測定流体による腐食、高速流体や粉流体、高差圧流体による浸食、そして雰囲気ガスに含まれている成分、水分による腐食がある。

最近ではプラントの保守のために使われる洗浄液や、溶剤の影響も無視できない。さらに、溶接の応力が残っていたり、温度差による内部に応力が生じて、ここからひび割れ（応力腐食割れ）が生じることがある。

④耐候性

プラントの大部分は屋外に設置される。当然センサも屋外となれば風、雨、塩分を含んだ大気、すなわち、大気汚染環境も考えることが必要である。

⑤耐振性

センサの設置場所が機械的に振動する（ポンプ、コンプレッサ、配管等から）場合や、プロセス液体の持つ圧力の脈動により検出値が振動する場合がある。機械的振動の場合には防振装置を設けたり、サポートの強化や耐振形のセンサを考慮する。また、プロセス流体の振動の場合には、信号ラインに減衰装置を入れる方法や、センサ自体の応答を遅くする方法がある。

⑥再現性，感度∴精度

たとえば、温度や流量の絶対測定ができなくても、相対的に安定した測定値が得られるもの、すなわち、同じ温度や流量、圧力に対して同じ値が再現されるということが必要である。

感度、すなわちセンサのゲイン（入力に対する出力の比率）は高い方が良いが、工業用としては安全性が重要である。

⑦動特性

工業的な測定対象は常時変動している。たとえば、位置を追従制御するサーボ機構では、センサは早く応答する必要がある。そのためには無駄時間や、時定数（注）の小さいセンサが用いられる。

一方、脈動している圧力や揺動している物の表面温度を平準化して求めるときは、時定数の大きいセンサを用いる。

すなわち、制御の目的に合った動特性のセンサで、必要な速度で外乱に応答するが、不必要な外乱（ノイズ）には応答しないことが望ましい。

（注）時定数：１次容量系にあって、入力がステップ状に変化したとき、出力変化の全幅の63．2%に達するのに要する時間をいう。

(1)温度測定センサ

工業用温度計は温度範囲が－200℃から2000℃にわたり、圧力・雰囲気などの条件が多種多様なので、それに対応できる温度計が要求される。そのため、各種温度計の　特徴と誤差となりうる要因を参考例として表1.2.7に示す。

①熱電対

２種類の金属導体の両端を電気的に接続して閉回路を作り、両端に温度差を与えると回路中に電流が流れる。この現象をゼーベック効果は（注）といい、電流を起こさせる起電力を熱起電カという。熱起電力の大きさは、導体の材質がそれそれ均質で、組み合わせる導体の種類が同じであれば両端の温度差のみによって定まり、導体の長さや太さ、および両埼以外の部分なとには無関係である。したがって、一端の温度を一定温度（基準接点温度０℃）に保てば熱起電力の値を測定することによって他端の温度を知ることができる。

（注）ゼーベック効果（熱電効果）とは

図1.2.1の（1）のように、aとbという違った２種類の金属でループ（回路）を作る。このループbの途中に電流計を挿入して電流を測っても何ら針が振れることはない。しかし、この２種類の金属の接合点の片方だけを（２）図のように加熱すると、このループに電流が流れることがわかる。

この電流を流す力となる電圧を「熱起電力」、またそこに流れる電流を熱電流といい、この現象を「熱電効果」、または発見者の名をとって「ゼーベック効果」と呼んでいる。

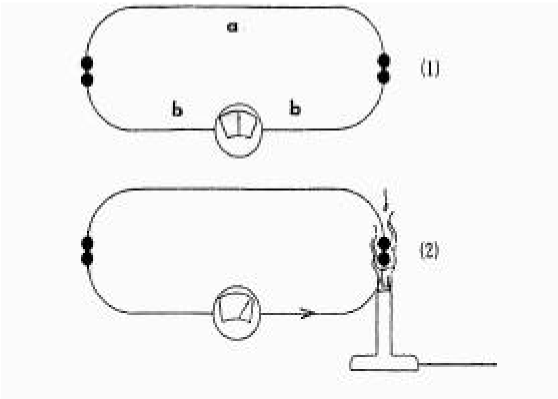


図1.2.1　熱電効果

以上により熱電対の基本法別は次の３項目に集約することができる。

1）均質回路の法則：均質の金属線で構成される回路では温度差があっても熱起電力は発生しない。

2）中間金属の法則：異種金属線で構成される回路全体の温度が等しければ熱起電力は発生しない。

3）中間温度の法則：異なる温度値t1，t2，t3の３カ所があり、そこに熱電対を配置した場合、熱電対の両接点の温度値がt1，t3の熱起電力はt1，t2の熱起電力とt2，t3の熱起電カの和に等しい。

ここに、日本工業規格（JIS）で規定している熱電対温度計の仕様を示す。

②測温抵抗体

測温抵抗体とは、金属線の電気抵抗値が温度の上昇に伴って増加する（電気伝導度が減少することによって）ことを利用して温度を測るものである。この金属の電気伝導度は金属中の電導電子の動きによって決まる。

金属中に不純物があったり、結晶格子が熱振動して電子が散乱されると電導度が低くなる。温度が上がれば結晶格子の振動が活発となり、電気抵抗値が増加する。

表1.2.1　JIS規定の熱電対（JIS C 1602-1981）

記号	旧記号	構成材料 + 脚	構成材料 - 脚	階級	素線径 (mm)	常用限度 (℃)	加熱使用限度 (℃)	特徴
B	-	ロジウム30%を含む白金ロジウム合金	ロジウム6%を含む白金ロジウム合金	0.5級	0.50	1500	1700	常温での熱電能が極めて小さい。特性の差が大きい例もある。他はR熱電対に同じ。
R	-	ロジウム13%を含む白金ロジウム合金	白　金	0.25級	0.50	1400	1600	安定性が良い。標準熱電対に適する。酸化性雰囲気に適する。水素、金属、蒸気に弱い。熱電能が小さい。わずかに履歴変化。補導線の誤差大。
S	-	ロジウム10%を含む白金ロジウム合金	白　金		0.50	1400	1600	
K	CA	ニッケル及びクロムを主とした合金	ニッケルを主とした合金	0.4級	0.65	650	850	起電力の直線性が良い。酸化性雰囲気に適する。金属蒸気に弱い。やや履歴変化がある。
					1.00	750	950	
				0.75級	1.60	850	1050	
				1.5級	2.30	900	1100	
					3.20	1000	1200	
E	CRC	ニッケル及びクロムを主とした合金	銅及びニッケルを主とした合金	0.4級	0.65	450	500	K熱電対より安価、熱電能は大きい。非磁性。やや履歴変化がある。
					1.00	500	550	
				0.75級	1.60	550	650	
				1.5級	2.30	600	750	
					3.20	700	800	
J	IC	鉄	銅及びニッケルを主とした合金	0.4級	0.65	400	500	安価、熱電能やや大きい。起電力の直線性良。還元性雰囲気に適す。特性、品質のばらつき大。さびやすい。高温で履歴変化。
					1.00	450	550	
				0.75級	1.60	500	650	
				1.5級	2.30	550	750	
					3.20	600	750	
T	CC	銅	銅及びニッケルを主とした合金	0.4級 0.75級 1.5級	0.32	200	250	安価、低温での特性が良い。均質性が良い。還元性雰囲気に適する。熱伝導誤差が大きい。
					0.65	200	250	
					1.00	250	300	
					1.60	300	350	

ただし、半導体を使った温度計（サーミスタ温度計）は、温度が上昇するとその抵抗値が減少することを利用したもので、同じ抵抗値を利用する温度計でもまったく反対である。図1.2.2でマイカ巻き測温抵抗体素子の例と、図1.2.3でシース形測温抵抗体の例を示す。

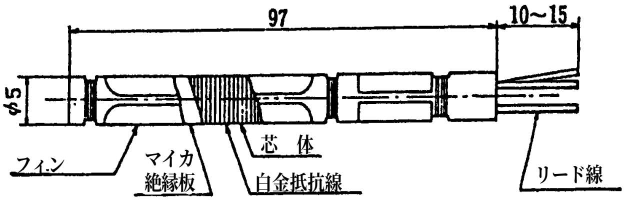


図1.2.2　マイカ巻き測温抵抗対素子

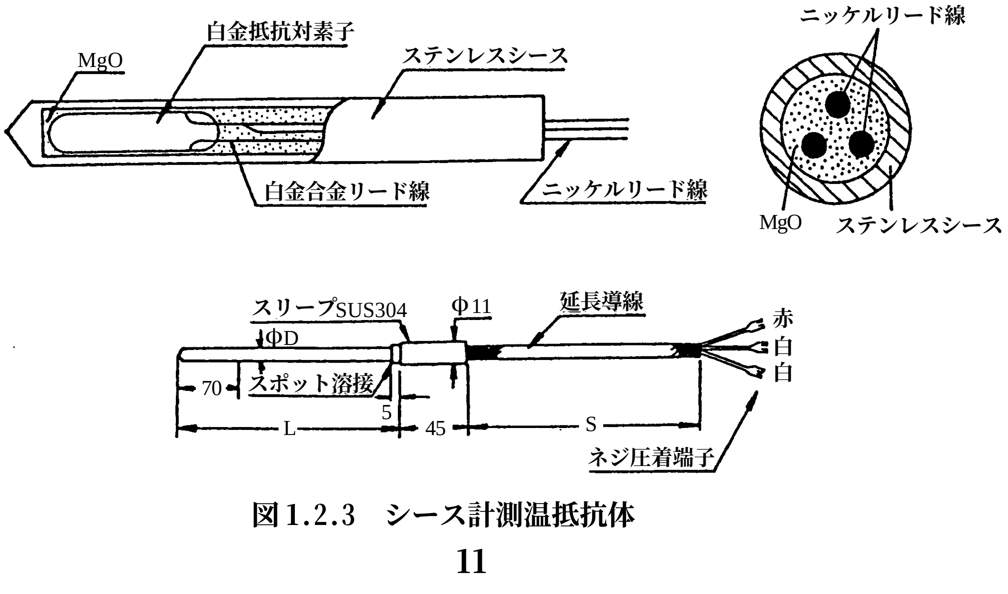


図1.2.3　シース計測温抵抗体

そのためには次の条件を満足する必要がある。
1）機械的化学時に安定であること。
2）温度係数が大きいこと。
3〉同種の抵抗素子の温度特性が同一かつ安定で互換性があること。
4〉温度抵抗曲線が連続的で使用温度範囲内で極大、極小を有しない。

以上の条件に最もよく合った材料は白金で、工業用として広く利用されている。このほかには特定の分野で使用されている材料に鋼、ニッケルがある。

なお、JISに規定されている測温抵抗体は抵抗素線に白金を用いる。白金測温抵抗体は０℃における抵抗値は100 Ωに限定している。

表1.2.2　測温抵抗体の種類

記　号	R_{100}／R_0値	階　級	規定電流	使用温度区分	導線形式
Ｐｔ$_{100}$	1.3850	A級 B級	1　mA 2　mA 5　mA ＊	Ｌ－　200～ 100°C M　0～ 350°C H　0～ 650°C	２線式 ３線式 ４線式
（ＪＰｔ$_{100}$）	(1.3916)	A級 B級	1　mA 2　mA 5　mA ＊	Ｌ－　200～ 100°C M　0～ 350°C H　0～ 650°C	２線式 ３線式 ４線式

備考　1. R_{100} は100°Cにおける抵抗値
2. R_0 は０℃における抵抗値100 Ω
3. 括弧書きは将来廃止される。
4. ＊印はA級には適用しない。
5. シース測温抵抗体の使用温度区分Hは０～500°C。
6. 導線形式２導線式は、シース測温抵抗体には適用しない。

工業用の温度計測に使用する場合は、測定対象のゴミ、振動、腐食性雰囲気、湿度等の悪影響から保護するために保護管を使用する。

なお保護管の必要性、その仕様については温度検出端の項で説明する。

③バイメタル式温度計および充満式温度計

バイメタルは膨張係数の異なる２種類の金属片を接着したものである。バイメタルの一端を固定しておけば、温度変化により他瑞に変位が生ずるので、この変位を指示部に伝えることにより温度測定ができる。

充満式温度計は圧力式温度計ともいわれ、膨張を圧力変化に換えてブルドン管の変位を指示部に伝えるもので、液体膨張式、蒸気圧式および気体膨張式の３種類がある。

振動、衝撃には丈夫で遠隔測定もできるが、精度が0.5%～1.5%なので精密測定には不向きである。

表1.2.3にバイメタル式温度計および充満式温度計の種類と、主な性能および特徴を示す。

注）蒸気圧を利用したものでは、この他、水、液体酸素、液体窒素、液体ヘリウムなどの蒸気圧式温度計が使われている。

④ガラス温度計

温度計としては最も歴史の古いもので、1600年後半から使用されている。取扱いが簡単で安価なため、現在でも制御、記録を必要としない温度測定では多数使用されている。

表1.2.4にガラス温度計の種類と主な性能および特徴を示す。

表 1.2.3　バイメタル式温度計および充満式温度計の種類、主な性能および特徴

種　　類		使用温度範囲(°C)	特　　徴	トレーサブルな温度範囲および精度
バイメタル式温度計		−50〜＋500	簡便で堅固。簡単な温度制御や記録ができる。 遠隔指示ができない。	−50　〜＋500°C ±１目量
充満式温度計	水銀充満圧力式温度計	−50〜＋600	振動、衝撃に対して堅固。遠隔指示、温度制御、記録ができる。目盛間隔が均一である。	−50　〜＋600°C ±１目量
	液体充満圧力式温度計	−100〜＋400	振動、衝撃に対して堅固。遠隔指示、温度制御、記録ができる。目盛間隔が均一である。	−50　〜＋400°C ±１目量
	蒸気圧式温度計	−20〜＋200	測定温度範囲が狭い。特定温度範囲のものが制作できる。 目盛間隔が不均一である。 精度は液体充満圧力式よりやや低い。	−50　〜＋200°C ±１目量

表 1.2.4　ガラス温度計の種類、主な性能および特徴

種　　類		使用温度範囲(°C)	特　　徴	トレーサブルな温度範囲および精度
水銀封入ガラス製温度計		−50〜＋650	簡易に、比較的精度よく、長期間安定した測定ができる。 標準用としても使える。 破損しやすく、振動、衝撃に弱い。	−50〜＋550°C ±１目量 精密級：0〜100°C ±0.03°C
水銀以外の液体封入ガラス製温度計		−200〜＋200	低温用。水銀封入温度計より見やすいが、精度が劣る。	−100　〜＋200°C ±２目量
特殊なガラス製温度計	ベックマン温度計	0〜200°Cの任意の温度で最大６	微少な温度差測定が可能。 測定温度が任意に選べる。	20°C ±0.01°C
	最高最低温度計	−30〜＋200	一定期間中の最高温度、最低温度の測定ができる。	−30　〜±200°C ±１目量
	ガラス製隔測温度計	−100〜＋200	屈曲自在な導管付きで取り付けが容易。	−100　〜＋200°C ±２目量

［備考］ガラス温度計の形式などによる分類とその特徴

1）形状　二重管：高精度が得られ、標準器として用いられる。衝撃に弱い。
　　　　棒　状：二重管より衝撃に強いが、精度がやや劣る。実用、汎用向き。
　　　　板　付：目盛が見やすい、精度は高くない。

2）浸没　全浸没：精度よく測定できるが、示度が読み取り難い。
　　　　浸没線付：示度は読み取りやすいが、精度は高くない。浸没条件は測定に応じて決められる。

3）目盛　目盛範囲は使用目的に応じて各種温度範囲のものが作られている。
　　　　目量（最小目盛）は、水銀封入ガラス温度計では、0.01,0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5°C、水銀以外の液体封入ガラス温度計では、0.5, 1, 2°Cのものがある。基準ガラス温度計など精密測定用には、目盛範囲に関係なく0°Cの目盛線が付されたものが用いられる。

⑤放射温度計

放射温度計は、測定対象物に接触させることなく温度測定が行えるため、移動物体や高温物体、またはセンサを接触させることにより、熱じょう乱を起こすような小熱容量物体、表面温度など測定対象の温度を変化させずに測定できる。

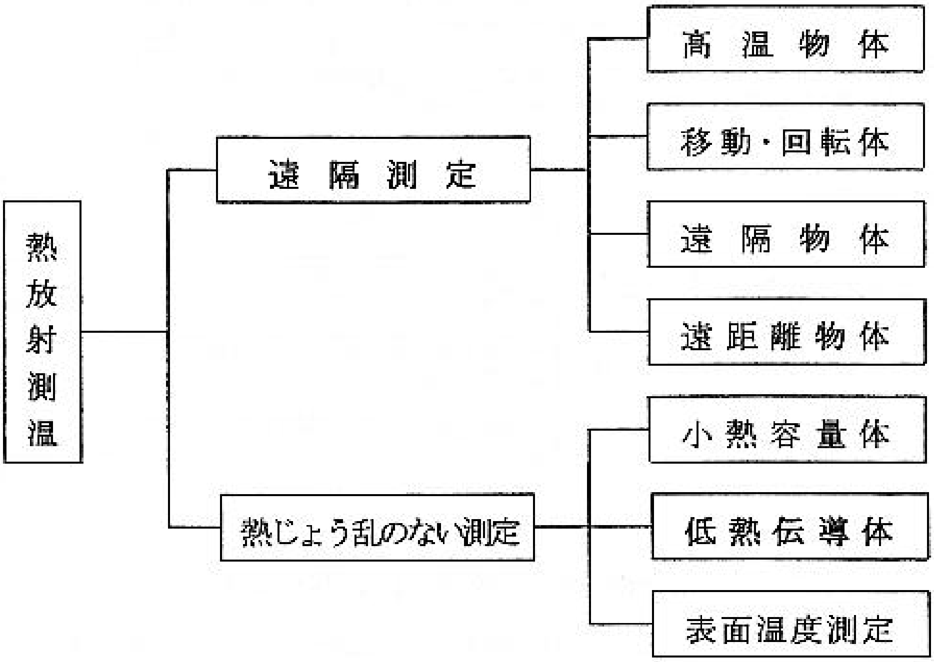


図 1.2.4　放射温度計に適する測定対象

放射温度計の分類は、測定波長帯域、結線方式、測定回路など多くの分類方式があるが、ここでは市販されている放射温度計についてJISに基づき分類し、表1.2.5にその種類と特徴を示す。

表 1.2.5　熱放射を利用した温度計の種類と特徴

分　類		使用温度範囲	特　徴
量子形検出器を用いた放射温度計	シリコン放射温度計	300　～　3500	波長帯域0.2～1.1μm。光起電力形。応答性及び安定性良好。比較的安価。精密測定、標準用にも使われている。
	ゲルマニウム放射温度計	250　～　1500	波長帯域0.3～1.8μm。光起電力形。応答性良好。比較的安価。高温特性はシリコン放射温度計の方がよい。
	ＰｂS放射温度計	50　～　1200	波長帯域0.3～3.3μm。光導電形。応答性は比較的よい。 感度が周知温度に影響されやすく、経年変化もやや大きい。
	ＩｎSb放射温度計	40　～　1000	波長帯域１～5.5μm。応答性は比較的よい。 素子を冷却する。
	HgCdTe放射温度計	－20　～　＋1000	各種波長帯域のものが作られている。応答性は比較的よい。素子を冷却する必要がある。比較的満価。
熱形検出器を用いた放射温度計	サーモパイル放射温度計	200　～　1500	波長帯域0.5～20μm。応答性はやや悪い。光路の水蒸気の影響がある。 比較的安価。
	焦電形放射温度計	－50　～　＋1000	波長帯域1～15μm。光学フィルターを内蔵したものが多い。 応答性は比較的よい。
	サーミスタボロメータ放射温度計	－50　～　＋1000	波長帯域0.5～20μm。光学フィルターを内蔵したものが多い。 応答性はやや悪い。
２色放射温度計		180　～　3000	各種測定波長のものがある．灰色減光の影響を受けにくい。 視野欠けの影響が少ない。反射光の影響は比較的受けやすい。
光高温計		700　～　3500	肉眼観測による。比較的安価。標準電球による校正が可能。
走査形放射温度計	機械走査形放射温度計	－20　～　＋1000	ミラー、プリズムの振動、回転に上る走査。InSb、HgCdTeなどの素子を用いたものが多い。中低温の測定に適する。
	電子走査形放射温度計	600　～　3000	シリコンCCDを用いた可視近赤外域の放射温度計が多い。応答性がよく、高速測定に適する。ダイナミックレンジが狭い。

⑥使用上の注意事項
　以上、温度測定センサをいくつか説明してきたが、温度測定の目的に対応して温度計を正しく使用選定することが重要である。表 1.2.6 に一般的に遵守すべき基本的事項を示す。

表 1.2.6　測定対象によって考慮すべき誤差要因と対処法

測定対象		誤差要因	対処法
固体		検出器取付による熱の流出入	保護管、導線からの熱の流出入を減らす。
	平均温度	温度検出器と同体の熱接触	物理的な凄触を強める。
	表面温度	検出器取付による熱的状態の変化	表面温度計、放射温度計を使う。
	温度変化	検出器の応答	熱電対、サーミスタ測温体が適する。熱容量の小さい検出部の温度計を使う。
	高　温	迷光による影響	迷光を除去または補正する。
液体		検出器取付による熱の流出入	保護管、導線からの熱の流出入を減らす。
	平均温度	液体内の温度分布	攪拌する。
	温度変化	検出器の応答	熱電対、サーミスタ測温体を使う。熱容量の小さい検出部を持つ温度計を使う。
気体		検出器の熱容量	熱電対、サーミスタ測温体を使う。熱容量の小さい検出部を持つ温度計を使う.
		気体と検出器の熱伝達誤差	流速を増加させるなど気体と検出器との接触を良くする。
		放射の影響	放射シールドを設ける。
	平均温度	気体内の温度分布	攪拌するか、又は多数点の測定をする。

(2) 圧力測定センサ
　圧力は、「単位面積当たりに働く面と法線方向の力」と定義される。物質の各相、すなわち気相、液相、固相それぞれについて圧力を考えることができるが、固体は、気体や液体とは異なる性質をもっている。固体内においては、圧力に伴った流動がないので力の方向性が保存される。つまり圧力は方向性をもっており、１点における圧力も方向によって大きさが違う。流体（気体、液体）は、力の偏りに応じて自由に形を変えて流動するので、圧力は方向性をもたず、ある点におけるどの方向の面に対しても同じ大きさの圧力が作用する。よって、１点についてひとつの圧力値が決まる。この流体における圧力の等方的性質を、発見者の名をとってパスカルの原理という。SI 単位系による圧力の単位パスカル Pa は、この名前にちなんでついたものである。

表1.2.7　各種温度計の特徴と誤差要因

温度計の種類	温度計としての特徴	誤差要因
抵抗温度計	1. 数㎤（検出素子の大きさ）程度の温度の平均値を測定するのに適する。 2. 約－273～500℃で精度のよい温度測定に通する。 3. 強い振動のある対象には適さない。	温度の変化速度 検出器の経年変化 熱履歴による変化 自己加熱 測定導線からの熱の流出入
サーミスタ温度計	1. 数㎣（検出素子の大きさ）程度の温度の平均値を測定できる。 2. 導線抵抗に較べて検出器の抵抗が大きい。 3. 一つの検出器での使用温度範囲が狭い。 4. 衝撃に弱い。	検出器の経年変化 自己加熱 測定導線からの熱の流出入
熱電温度計	1. 原理的には、接点の大きさ程度の空間の温度を測定することができる。 2. 応答がよい。 3. 振動、衝撃に強い。 4. 温度差が測定できる。 5. 高温での測定ができる。 6. 基準接点が必要である。	基準接点の安定度 補償導線の影響 寄生起電力 検出器の経年変化 熱履歴による変化 熱電対線などからの熱の流出入
ガラス製温度計	1. 簡便で信頼度が高い。 2. 高精度の温度判定も可能である。 3. 衝撃に弱い。	液切れ 露出部影響 経年変化
充満式温度計	1. 振動、衝撃に強い。 2. 簡便に使用できる。	導管からの熱の流出入 履歴による変化 導管部の露出部の影響 経年変化
放射温度計	1. 高温域の温度測定に適する。 2. 遠隔測定が可能である。 3. 移動または回転している物体の表面温度が測定できる。 4. 被測定物の温度を乱すことが少ない。 5. 原理的に遅れの少ない測定が可能である。	放射率の不正確さ 放射率の変動 光路中吸収、散乱 迷光（外来光や反射光） 経年変化

①圧力センサの種類と構成

変換器、センサといわれるものは、ある物質量を処理しやすい出力に変換する機能をもち、一般的な出力としては電圧、電流、振動数などの電気杓信号が用いられる。圧力という力学的な量を、電気的信号に変換するのにひとつの変換要素で行うセンサもあるが、一般には複数の変換要素を組み合わせて用いている。

圧力センサを感圧要素（１次変換）および２次変換で分類したのが表1.2.8である。感圧要素としては、機械的変換の中で最も簡単な形状であるダイアフラムが種類も多く、製品となっているものも多い。ここでは、圧力センサの代表例としてダイアフラムを用いたものとブルドン管を用いたものについて紹介するが、プロセス・プラントにおける圧力検出は、もっとも一般的であり、どこでも見ることができる。しかしながら、種類や使用用途も多く、なかにはプロセス流体の選定ミスならびに取扱い不備のため、その機能が発揮せずトラブルになることも多い。そのぶん、圧力計の選定には必要性も含め、正しい選定をしてほしい。そのために、表1.2.9に圧力計の選定を示す。

表1.2.8　圧力センサの分類

		感圧要素（1次変換）	変換方式（2次変換）	構成形式
圧力センサ	機械的変換要素	ダイアフラム	キャパシタンス	差動容量形
				片側容量形
				片側容量差形
			ストレーンゲージ	半導体拡張抵抗形
				蒸着抵抗形
				抵抗張付け形
			レゾナントゲージ	シリコンレゾナント形
			力測定式	力平衡形（サーボ）
				力変換形
		カプセル	電磁誘導式	差動変圧器形
			力平衡式	
		ベローズ	容量式	
			力変換式	水晶振動子形
		ブルドン管	電磁誘導式	リラクタンス形
				磁気平衡形
			光学式	回転角読取り
				電磁力平衡形
				光電変換形
		チューブ	抵抗式	
			振動式	
	物性的変換要素	抵抗線	抵抗式	
		結晶素子	圧電効果	パイル形
		膜（シート）	化学反応	圧力測定フィルム
			抵抗式	感圧導電性ゴム

②ダイアフラムを用いた圧力センサ

ダイアフラムは、圧力変換要素として最も基本的なもので、表1.2.8に示す通りダイアフラムを用いた圧力センサの種類は多様である。このダイアフラムは周縁部を固定した円形の薄板で、圧力に対して板の弾性特性を良くし、また有効面積を大きくするために波形に加工されている。

圧力発信器に使われるダイアフラム・カプセルは図1.2.5のような構造で、バック・プレートを挟んで２枚のダイアフラムを取り付けてある。バック・プレートには細孔があって、この中にシリコン油が封入されている。このシリコン油を通して２枚のダイアフラムにかかる圧力が伝わる仕組みである。細孔の中のシリコン油によって圧力伝達に制動がかかり、機器全体の安定性が増している。

このダイアフラム（隔膜ともいう）には金属の薄板のほかに、合成ゴム板、プラスチック膜を使用したものもある。

1）キャパシタンス圧力センサ

キャパシタンス圧力センサは､ダイアフラムの変形変位量をその近傍においた電極を用いて､その間の電気容量変化から測定する圧力センサである。

実用化されているキャパシタンス圧力センサの中から､使用実績の多い差圧発信器に用いられる差動容量形について構造を図1.2.6に、容量検出方法を図1.2.7に例示する。

接液ダイアフラムに加わる圧力が､高圧側および低圧側のそれぞれから封入液を通じて感圧ダイアフラムに伝わると､感圧ダイアフラムは高圧側と低圧側との圧力差に比例して変位する｡感圧ダイアフラムは可動電極を兼ねているので､感圧ダイアフラムの変位によって､固定電極との間に静電容量の差を生じる｡工業用圧力センサは､この静電容量の差を増幅器で４～20mA等の統一電流信号に変換して伝送する。

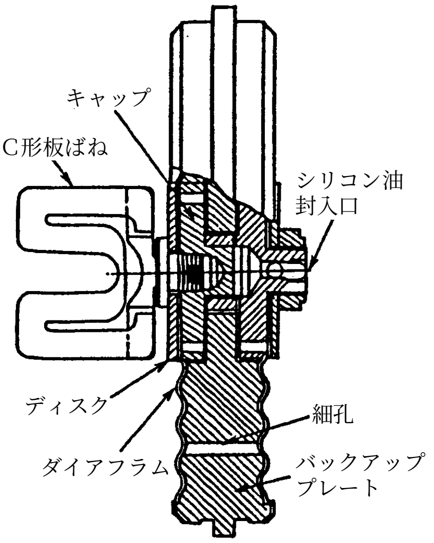


図1.2.5　二重ダイアフラムの断面図

2）ストレン・ゲージ圧力センサ

ストレン・ゲージ圧力センサは、半導体拡散抵抗形圧力センサ、蒸着抵抗形圧力センサおよび帳付け抵抗形圧力センサの３種類に大別できる。ここでは、最新のセンサ技術の成果の代表例としてよく引用される半導体拡散抵抗形圧力センサを取り上げる。

代表杓な構造の概要を図1.2.8(a)に示す。この例では、ダイアフラム面の周縁部４カ所に歪ゲージを形成している。半径方向のゲージR1、R3の変形率のほうが円周方向のゲージR2、R4の変形率より大きいので、この差を図1.2.8（b）に示すように、ホイーストン・ブリッジで検出するのが一般的である。結晶に力をかけて歪ませると電気抵抗が変化する現象をピエゾ抵抗効果という。

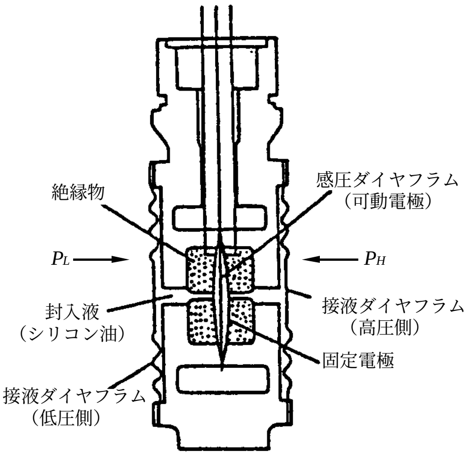


図1.2.6　カプセル・アセンブリ

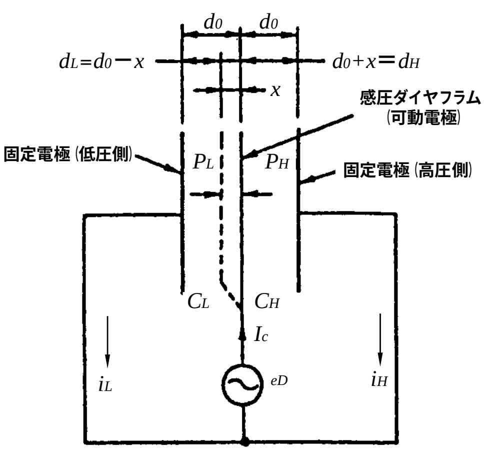


図1.2.7　原理図

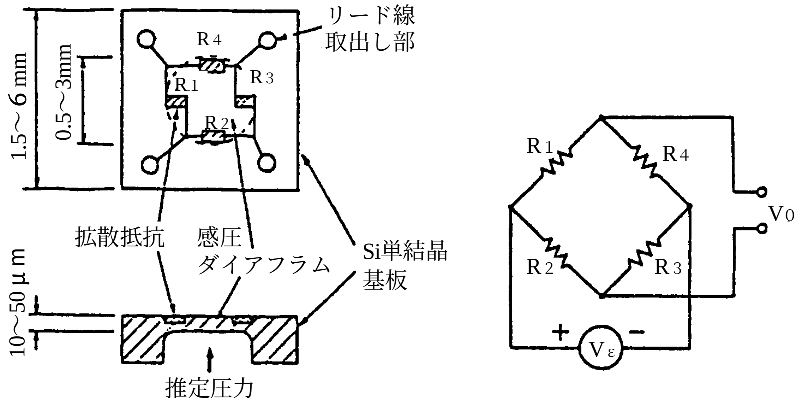
半導体拡散抵抗形圧力センサの特徴は次の通りである。

①半導体(Si, Ge) は、単結晶が優れた弾性体であり、ヒステリシス、クリープが殆どない。

②拡散抵抗ゲージの発生するノイズは、低レベルである。

③ダイアフラムとストレン・ゲージが一体なので、温度環境が同じである。

④数㎜以下の小形にできるので、軽量で振動衝撃に強い。



(a) 構　造　　　　(b) 等価回路

図1.2.8　半導体拡散抵抗形圧力センサの構造例

3) シリコン・レゾナント圧力センサ

検出部の構造は、ダイアフラムに２個の振動子が設けられていて、１個はダイアフラムの中央に、他の１個はダイアフラムの端部に設置する。振動子の形状は４端子をダイアフラムに固定されたH形をしており、単結晶シリコンのシェルで覆われている。シェルの内部は高真空室になっている。図1.2.9に検出部の構造を示す。

振動子の固有振動数測定方法は、図1.2.10の通りである。ここで、永久磁石により発生する磁界はヨークを通って狭いギャップの部分で磁束が発生する。この磁束に交差するようにH形振動子が設置されている。このH形振動子の片方の梁Aに電流を流すと磁気誘導作用により振動子に力が加わり変位を生じ、梁Aに連結している梁Bも梁Aの動きに同期して変位する。この梁Bの動きと永久磁石による磁束により、梁Bの両端にはフレミングの法則による電位が発生する。この発生電流を正帰還すると、系は振動子の固有振動数で発振するので、この固有振動数を測定すると圧力を知ることができる。

シリコン・レゾナント圧力センサの主な特徴は次の通りである。

①構造形センサなので、イオンや不純物などの汚染に強い。

②周囲温度による誤差が小さい。

③静圧による誤差が小さい。

④検出素子の信号は周波数なのでディジタル信号処理が容易である。

⑤振動子のメカニカルQ値が高く、高精度、高安定性が期待できる。

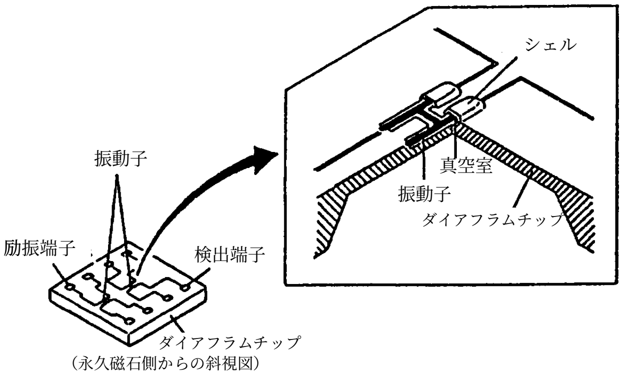


図1.2.9　検出部の構造

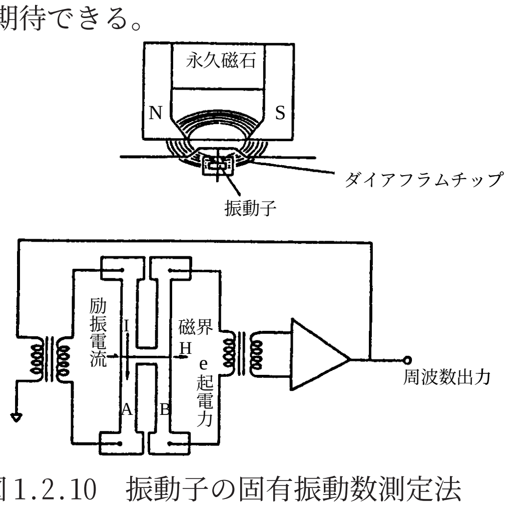


図1.2.10　振動子の固有振動数測定法

表1.2.9　圧力計の選定

選定条件 ＼ 測定方式			名称	力平行	度位平行	感圧半導体	ストレインゲージ	静電容量
			略号	PF	PI，PN	PP	PS	
測定原理				圧力を力に変換	圧力を変位に変換	圧力を直接半導体に印加	圧力を微少変位に変換	差動キャパシタンス方式
理論式				F＝PA	F=Pax	F=PA	F=Pax	$C=\frac{6A}{K(PH-PL)}$
			出力信号	電気・空気	電気・空気	電気	電気	電気
プロセス条件	性状	気体		○	○	○	○	○
		液体		○	○	○	○	○
	圧力	微圧	0.1〜kg/? g以下	△	○	△	×	○
		低圧	0.1〜1kg/? g	○	○	○	○	○
		高圧	1〜100kg/? g	○	△	○	○	○
		超高圧	100kg/? g以上	○	×	△	○	○
	温度	低温	−10°C以下	○	○	△*1	×*1	△1
		常温	−10°C〜120°C	○	○	○	○	○
		高温	120°C以上	○	○	△*1	△*1	△
	粘度	低粘度	1CP以下	○	○	○	○	○
		中粘度	2〜200CP	○	○	○	○	○
		高粘度	200CP以上	○	△	○	○	○
	腐食性	有		△*4	△*4	△*4	△*4	△
	スラリ	有		△*5	△*5	△*5	△*5	△1
	ダスト	有		△*5	△*5	△*5	△*5	△
	ミスト	有		○	○	○	○	○
	誤動			○	△*2	○	○	○
	常温凝固性			△*3	△*3	△*3	△*3	△
	常温気化性			○	○	○	○	○
性能	精度	%		±0.5	±0.5	±0.25	±0.5	
特徴	測定範囲の変更	*6		○	○	△	△	△
	メンテナンスの容易さ			○	○	○	○	○
	振動に対する影響			△*2	×*2	○	○	○
価格								
備考	○印：一般的に適しているか、特定環境で非常によい。 △印：考慮を要するか、ある場合には適する。 *印：不適あるいは標準的には適さない。							

注

*1：導圧配管により、センサ受圧部の温度を−10〜+120°C程度とすれば使用可能となる。

*2：機械的には変位平衡式は力平衡式に比し、弱いが適応性の的では、むしろ逆のことあり。

*3：スティームジャケット等を実施し、センサ及び導圧配管内の関連を防止すれば使用可能。

*4：接液部材質の耐食性範囲内にて使用可。

*5：センサ内部への侵入防止対策が必要。
導圧管およびセンサ受圧部が閉塞すると測定不可。

*6：同一形式センサに於ける最小スパンと最大スパンの比の大きさにより評価した。

*7：一般形−40〜120°C
耐爆形−10〜105°C
本安形−10〜80°C

②ブルドン管を用いた圧力センサ

ブルドン管の断面形状は、図1.2.11に示すようないろいろな形をもつ。これらのうち、平円形と楕円形が多く用いられている。また、ブルドン管を形状で分けると図1.2.12に示す４種類がある。

図1.2.12(a)はC形ブルドン管と呼ばれ、最も普通に用いられる。管の曲がり角は、250～270℃である。図(b)のつる巻形（ヘリカル形ともいう）と図(c)の渦巻形（スパイラル形）では、曲がり角を１回転以上に大きくすることで管先の変位を大きく取り出すことができる。精密潮定用や高圧力など特殊用途に用いられる。渦巻形では図のように外周端を固定する場合と、中心瑞を固定する場合がある。

ねじり形は偏平管をその中心軸のまわりにねじった異形ブルドン管で回転変位が得られ、高圧用に用いられる。C形の管先に直棒を取り付け、管先の変位を棒の先端の変位に拡大している形状のものもある。

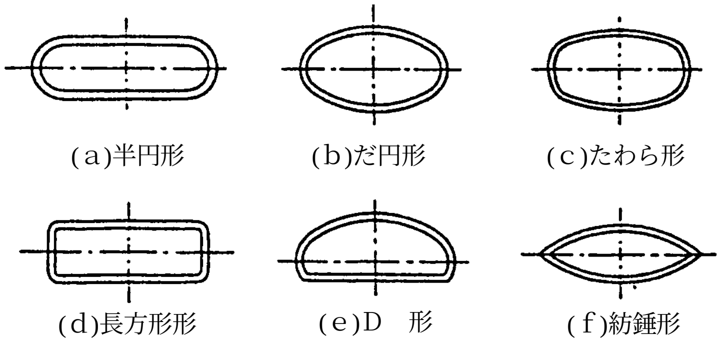


図1.2.11　ブルドン管の断面形状

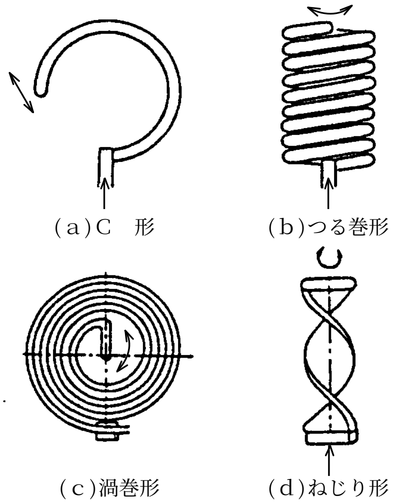


図1.2.12　ブルドン管の形状

(3) 流量測定センサ

液体が流路断面を通過する量の時間に対する割合を流量といい、「kg/h」,「㎥/h」などの単位で表される。

プロセス工業で取り扱われる流体は、気体、液体および蒸気と多種類であり、その測定条件においても高温高圧の蒸気、マイナス百度以下の液化ガス、高粘度液体、固形物や繊維質を含むスラリ状流体など範囲が広い。その中の代表的な流量計の測定方法とその検出部について枕要を説明する。

①絞り流量計

管路内の流れに垂直方向にその断面積を小さくする遮へい物を挿入して、そこに発生する差圧を測定して流量を算出するものである。この種の流量計に属するものとしてオリフィス、ノズル、ベンチュリ管などが挙げられる。構造が簡単で取扱いが容易で、しかも気体・液体ともに測定できることから、各種のプロセスの制御用、天然ガスの測定などにも使用されている。絞り流量計の基本式は、連続の式とエネルギー保存の式から導かれるが途中の式の誘導は省略する。流量と差圧の関係は次式で元されるように、流量は差圧の平方根に比例する。

ここで、

$$Q = a\,\varepsilon\,\frac{\pi}{4}\,d^2\sqrt{\frac{2\,\Delta P}{\rho_1}} \qquad (1)$$

Q：容積流量
a：流量係数
d：絞り口径
△P：絞り前後に生じる差圧

ρ１：絞り上流側の流体の密度

ε：気体の膨張補正係数（液体の場合はε＝1）

流体を測定するためには、前述の差圧と絞り上流側の流体の圧力と温度を測定する必要があるが、流量係数ａ、気体の膨張補正係数などは規格に与えられている値を使用すればよい。

表1.2.10　絞り流量計の分類と特徴

絞り流量計	細　分　類	特　　徴
オリフィス	コーナタップ	オリフィスプレートの直前・直後より差圧を取り出す。
	フランジタップ	オリフィスプレートの上流面より25.4㎜、下流面より25.4㎜の位置より差圧を取り出す。
	縮流タップ	オリフイスプレートの上流面から1D、下流側は上流面から放り口径比により0.84～0.34Dの位置より差圧を取り出す。
ノ　ズ　ル	ISAノズル	形状は円弧状の輪郭をもつノズル、入口部と円筒部とからなる。差圧の取出口の位置はコーナクップと同じ。
	長円ノズル	形状は長円の1/4の冷郭をもつノズル入口部と円筒部とからなる。差圧の取出口の位置はノズル入口部前面から1Dと0.5Dとする。
ベンチュリ管	円すい形ベンチュリ	入口円筒部、入口円すい管、スロート部、出口円すい管よりなる。差圧の取出ロの位置は入口円すい管の種類（鋳放し、旋削又は板金溶接）により異なる。
	ノズル計ベンチュリ	円弧状入口部、円筒状スロート部、出口円すい管よりなる。上流側の圧力取出口は入口平面部から単孔の場合は孔径の1/2環状室の場合はスリット幅の1/2とする。

一例として、図1.2.13のコーナタップ式のオリフィス流量計について述べる。このタイプは、オリフィス・プレートとそれをはさむリング上の環状室とから構成される。そのほかに、環状室をもたないものもあるが、いずれもオリフィス・プレートの直前・直後より差圧を取り出している。

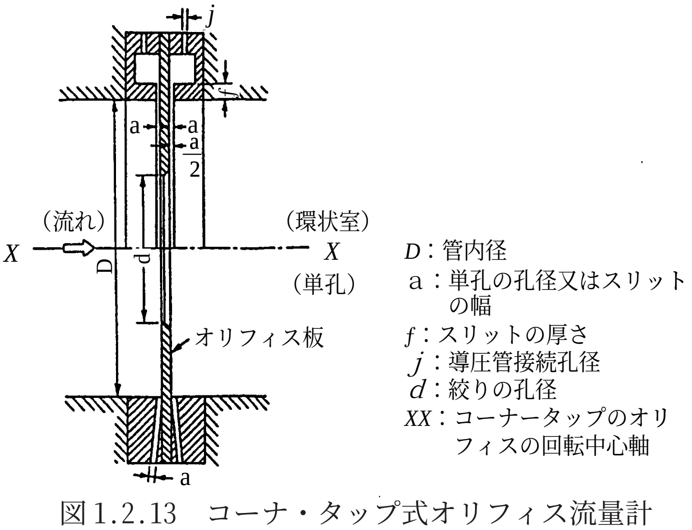


図1.2.13　コーナ・タップ式オリフィス流量計

オリフィス・プレートで一番重要なポイントは上流例のエッジであり、この部分が丸みを帯びたり、きずがつくと縮流の様子が異なり流量係数に影響を及ぽす。プレートの板厚・絞り穴の逃げ角、プレートの表面租さなどは規格で定められている。

さて、絞り流量計は流量計のうちでももっとも流速分布などの管路内の流れの状態の影響を受けやすい流量計であり、管路への設置条件は規定されている。特に流量計の上流側の直管長さは、定常状態の流速分布が得られるまでに十分にとる必要がある。

配管が曲がったり、弁や拡大管、縮小管が取り付けられていると管内の流れは、管軸に対して非対称となったり、流速分布が変わったりするため測定誤差が生ずることになる。したがって、絞り機構の取付部に必要な直管長を規格で指定している。

必要な直管長は管路の状況と絞り直径比βによって異なるが、オリフイスおよびノズルの場合を例にあ

げると、上流側は管径の10～46倍、下流側は菅径の4～8倍以上必要である。
絞り流量計はその名称の示すように管路を絞って差圧を大きくすることが測定誤差を小さくするために必要である。しかしながら、絞り前後での差圧を大きくとっても上流側と下流側の絶対圧の比がオリフイス流量計の場合は0．75以下にならないようにすることが測定条件として規格されている。
特に測定流体が気体で先の圧力比が約0.5以下になると、入口部の形状が連続的に絞られるノズルの場合は、スロートの部分で流体の速度はそこでの温度・圧力により定まる音速に達する。いったん音速に達すると下流側の圧力がさらに下がっても､その影響は上流側に伝搬しないために流量は一定となる。すなわち、先に述べた原理式がここでは使用できなくなる。逆に音速に達したノズル（音速ノズル）は一定の質量流量を発生させることができるから、定流量の発生装置に利用されている。

②電磁流量計
電磁流量計はファラデーの電磁誘導の法則を応用した流量計で現在、口径2.5㎜の微小流量計から2,600㎜までの超大口径流量計が実用されている。
1)測定原理
磁界中を導電体が横切って動くときに、その移動速度に比例した電圧が導電体中に誘起されるという電磁誘導の法則に従って、流量を求めるものである。
すなわち、図1.2.14に示すように磁束密度Ｂ(Ｔ）の磁界内に、管内径Ｄ(ｍ）の測定管を磁界の方向に対して直角におき、この中に導電体を、平均流速ｖ(ｍ/s)で流すと、電磁誘導により平均流速に比例した起電力E(V)が液体中に誘起される。この起電力を、流れおよび磁界の両方向に直角となるように管壁に対向して設置されている１対の電極により検出し、変換器により増巾、演算を行うことにより、体積流量が測定できる。この起電力は次式となる。

$$E = k\ B\ D v\ \ [V] \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

ｋ：検出部固有の定数
測定管を流れる流量Ｑは

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} v\ \ [\mathrm{m^3/s}] \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

となるので両式により

$$Q = \frac{\pi D}{4} \frac{E}{k B}\ \ [\mathrm{m^3/s}] \cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

となり起電力Ｅは次式となる。

$$E = k \frac{4}{\pi} \frac{B}{D} Q\ \ [\mathrm{V}] \cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

(3)式から、磁束密度Ｂが一定なら、流量Ｑは起電力Ｅに比例する。
検出部で得られた発生起電力Ｅは、変換器で4～20mAおよび1～5VDC信号に出力される。

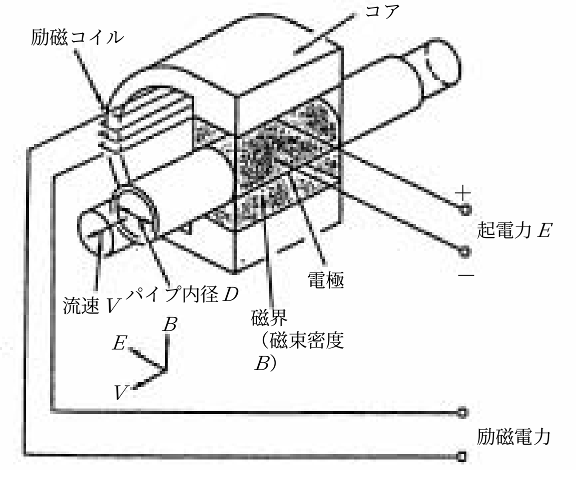


図1.2.14　測定原理

2）電磁流量計の一般的特徴

1）出力信号が流速に対し、原理杓に比例するので、レンジ・アビリティが極めて広く、高精度の流量測定が可能である。

2）検出部に機械的な可動部や、流れをさえぎるものが全くないので、圧力損失がない。

3）接液部を耐食材料で構成できるため、腐食性流体の測定が容易に可能。

4）原理的に体宥流量が得られ、粘度、密度、温度、圧力などの変化の影響を受けない。

5）原理時に流速分布の影響が少なく、したがって、検出器の上流、下流側の直管長が短くてよい。

6）測定レンジの変更が容易。正逆方向の流量測定も可能。

7）気体、油など非導電性流体の測定はできない。

3）電磁流量計測定上の留意点

1）測定可能流体

5μS/㎝以上の導電率をもつ液体ならほとんどすべてが測定できる。

2）口径の選定

通常は、配管の口径と同じサイズの電磁流量計を選ぶ。流速が1～5m/sの間にあるとよいが、流速が小さければ1サイズ下のものを選ぶ。また、レデューサを電磁流量計に直結してもよい。逆の場合（拡大管）は流速分布の乱れが大きくなるので、レデューサと電磁流量計との間に直管部が必要となる。

3）電極材質、ライニング材質の選定

電極材質は流体の腐食性に注意して選ぶ。ライニングは腐食性とともに磨耗性についても考慮する必要がある。腐食性流体ではフツ素樹脂（PFA）を選択する。流体中に固形物が多量に混入した磨耗性流体には、セラミックス、あるいはポリウレタンを使うとよい。

③渦流量計

円柱や角柱などを流れに垂直に挿入すると、その両側から交互に渦が放出される。この渦放出の周波数は、ある条件のもとで流速に比例するので渦周波数を計測することにより、流速あるいは流量を測定することができる。

1)測定の基本原理

柱状物体を流れに垂直に挿入すると、その両側から互いに逆回転の渦が交互に放出され、下流には著名なカルマンの渦列が形成される。渦の発生周波数をf、流速をv、渦発生体の流れに対向する幅をdとすると、

$$f = S\,t\,\frac{v}{d} \qquad (1)$$

式(1)の関係がある。Stは、ストローハル数と呼ばれる無次元数で渦流量計にとって重要な係数である。図1.2.15は渦発生体が円柱の場合の特性を示したもので、ストローハル数と（dを代表寸法とする）レイノルズ数の関係で表されている。曲線が平坦な範囲において、渦の発生周波数は流速に比例している。横軸がレイノルズ数であることは、この部分では渦周波数が液体の密度・粘度に影響されないことも示している。

以上の特性は、円管内に柱状物体である渦発生体を挿入した渦流量計においても同様である。したがって、ストローハル数Stをあらかじめ把捉しておけば、渦周波数を計測することにより流量を測定することができる。

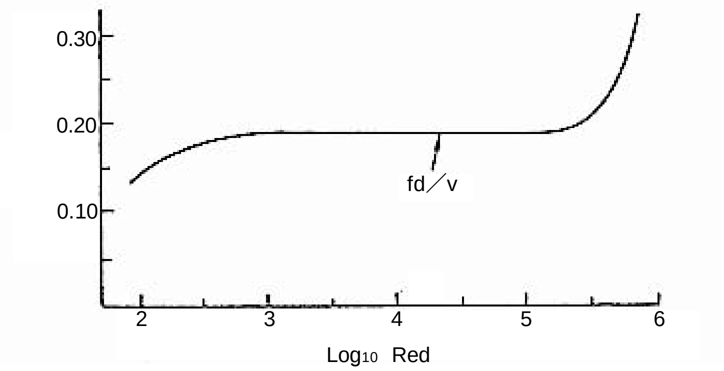


図1.2.15　ストローハル数ーレイノルズ数

2）一般的特徴

一般に、流量計測の対象は、管路口径、流量

値、流体の種類・温度・圧力などの条件が多岐にわたっている。

渦流量計は原理上次のすそれた特徴をもつので、他方式の流量計と比べて適応性に富み、取扱いが簡便で耐久性にすそれた汎用流量計として好適であるといえる。

①流量に１次比例の出力（周波数）が得られる。
②測定範囲内にて流体の密度・粘度に影響されない。
③レンジ・アビリティが大きく、ゼロ点が安定である。
④圧力損失が小さい。
⑤センサは接液しない。
⑥可動部を持たない。
⑦２線式伝送が可能。
⑧スチーム測定も可能。

そのほかに、オリフィス式流量計と比べ、据付コストが安い、差圧発信器の定期校正が不要という、すそれた特長をもっている。

④面積流量計

1)測定原理

面積流量計は図1.2.16に示すように、鉛直に設置されたテーパ管と、その内部に収められたフロートによって構成されている。

被測定流体を下から上へ流したとき、流れはフロートにより絞られ、その前後に差圧を発生する。

フロートはこの差圧による上向きの力を受けて上昇し、可動部の有効密度と平衡する位置で静止する。

この関係は次式のようになる。

$$Q = C\,A\sqrt{\frac{2\,g\,V_f\left(r_f - r_0\right)}{A_f\,r_0}}$$

$$G = C\,A\sqrt{\frac{2\,g\,V_f\left(r_f - r_0\right)r_0}{A_f}}$$

ここに　Ｑ：体積流量
Ｇ：質量流量
Ｃ：流出係数
Ａ：流通面積
ｇ：重力の加速度
Ｖｆ：可動部の体積
Ａｆ：フロートの水平最大断面看
ｒｆ：可動部の等価密度
ｒｏ：液体の密度

上式から判るようにフロートの上昇高さ、すなわち流通面積と流量は一定の関係にあるので、その位置によって流量を測定するものである。

したがって、フロートの前後に生ずる差圧は常に一定になっている。

図1.2.16　面積流量計

2）特　　徴

面積流量計の特徴は、次のとおりである。

①絞りによる流量測定方法に比べて、低レイノルズ数における流量が測定できる。

②構造上微小流量の測定が可能である。その１例を表 1.2.11 に示す。

③有効測定範囲が広く、最小目盛値は一般に最大目盛値の約 1/10 である。

④目盛が、ほぼ均等な直線目盛である。

⑤圧力損失が比較的少ない。

⑥直管部を必要としない。

表 1.2.11 （JIS Z 8761）

流量計の種類	流体	最小容量のものの有効測定範囲	レイノルズ数(1)	圧力損失
ガラステーパ管	水	0.05～0.6mℓ/min	0.6～8	4mmH_2O
	空気	3.5～40mℓ/min	3～35	
金属テーパ管	水	0.03～0.3ℓ/min	200～2000	1300mmH_2O
	空気	0.8～8ℓ/min	360～3600	

注（1）レイノルズ数（Re）は次式で求める。

$$Re = 3.54 \times 10^2 W/Df = 3.54 \times 10^2 Q ／ D_f \cdot \nu$$

ここに　W　：質量流量

Q　：体積流量

Ｄｆ：フロートの最大直径

ν　：動粘度

η　：粘度

(2) 空気の流量は、温度 20℃、圧力 101.3kpa における値とする。

3）一般事項

①設計条件と異なった流体条件（密度、粘度、温度など）で使用する場合、補正が必要である。通常の測定では、密度は２％以内、粘度については２桁程度で求めておけばよい。

②流体が管内を満たして流れている必要がある。流体にアワが混入すると誤差を生ずる。正確な測定をするには、上流側にアワ抜き装置を取り付けるべきである。

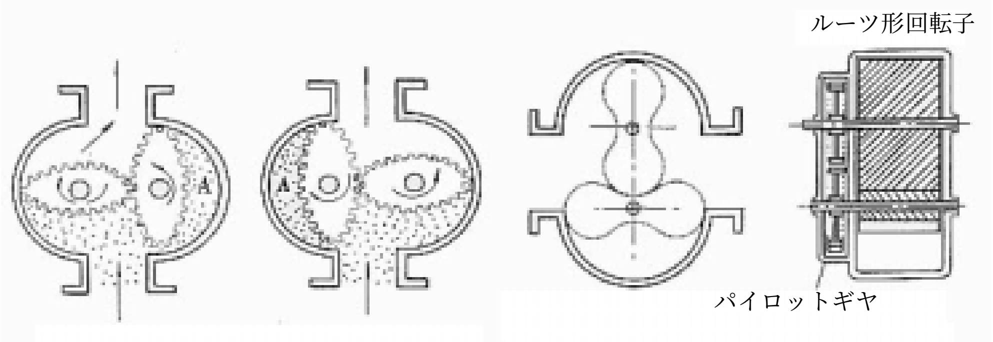
③管路に計器を取り付ける場合、テーパ管の中心が垂直になるように注意すること。また、計器の点検、修理を、管路の流れを止めずに行うためには、あらかじめバイパス管路を設けておく必要がある。

⑤容積流量計

1）測定原理

容積流量計は「計量部の流入口と流出口との流体差圧によって回転する回転子が、回転子とケースとの間で囲む一定容積の空間（ます）に充満した流体を流出側に何回送り出したか」ということから液体の通過量（積算量）を知る形式の流量計である。また回転子の回転速度から流量の瞬時値を知ることもできる。

回転子の形としては図 1.2.17 に示したようなオーバル（だ円）歯事型、ルーツ型が広く用いられている。



(a)　オーバル歯車型流量計の内部構造　(b)　ルーツ型流量計の内部構造

図1.2.17　容積流量計の回転子

2）特　　徴

①高精度で宥算流量の測定ができる。

②流体の粘度変化による影響が比較的少なく、差圧流量計などとは逆に高粘度の流体の方が誤差が少ない。

③脈動による影響がほとんどない。

④流量計取付位置の前後に直管整流部が不要である。

⑤ストレーナを含め圧力損失が大きい。

一方、流体中に狭雑物が混入すると、回転子相互間、回転子ケース間にかみ込んで流路を閉止してしまうので、必ずストレーナ（ろ過器）を計量部入口に設ける必要がある。

⑥タービン流量計

1）測定原理

管中を流体が流れると翼車が回転し、翼車の回転数と流速とが比例し、管の断面積が一定であるから、断面積と流速の積である流量と、回転数が比例するので、回転数を計れば流量を知ることができる。

N＝K１v，V＝Q／A，N＝QＫl／A・・・・・・・(1)

ここに、N　：翼車の回転数

V　：流体の流速

k１：比例定数

Q　：流量

A　：管の断面積

図1.2.18の検出部には、ピックアップ・コイルと永久磁石が内蔵されていて回転翼がピックアップ・コイルの近くを通り過ぎるたびに、コイルを貫通している磁束密度が変化して１つのパルス電圧をコイルに発生させるので、単位時間のパルス数を計数すれば流量を、またパルス数を積算すれば積算流量を測定することができる。翼の数をn、パルスの数をｐ（pulse／min）とすると（1）式は次の式となる。

N＝ｐ／n，ｐ／n＝QＫ１／A・・・・・・・・(2)

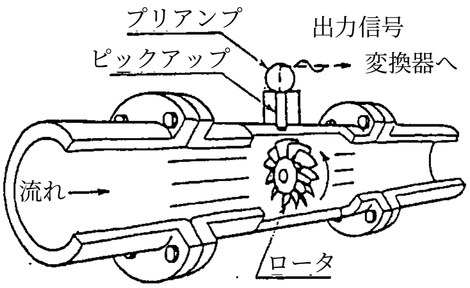
2）特　　徴

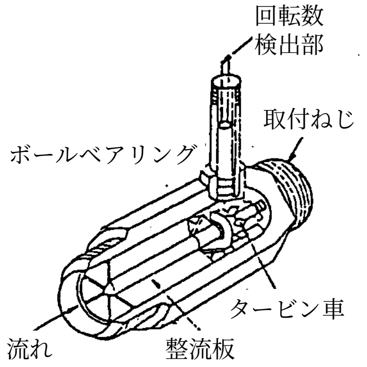
この流量計の特徴は下記のとおりである。

①流体抵抗の少ない低粘度液に適している。

②精度は一般に定格値の±０．５%

③測定流量範囲も広く、最大流量の１／10～１／30におよぶ。口径は15㎜から350㎜。





④構造が簡単で軽量である。
⑤出力信号は流量に比例したディジタル電気信号である。
⑥上流側には、直管部およびストレーナの取付けが必要である。

⑦超音波流量計
1）測定原理

超音波は良好な指向性をもつので、各種物体中に容易に透過する。したがって、流体中に超音波を放射し、流速が音速に与える変化から流量を測定することができる。現在、超音波流量計として広く実用化されているものに、伝搬速度差法とドップラー法の２つがある。

①伝搬速度差法

斜めに対向して設置された検出器間の超音波の到達時間差から、流体の流速を求める測定法で、工業用超音波流量計の主流をなしている。

②ドップラー法

ドップラー効果を利用し、流体中の混入物より反射してもどってくる反射波と送信波の周波数差から混入物の移動速度、すなわち、流体の流速を測定する。

伝搬速度差法に比較し、反射物のない、きれいな水の測定は難しく、音波の透過が悪く、伝搬速度差法では、測定が困難な下水、排水流量の測定に利用されている。

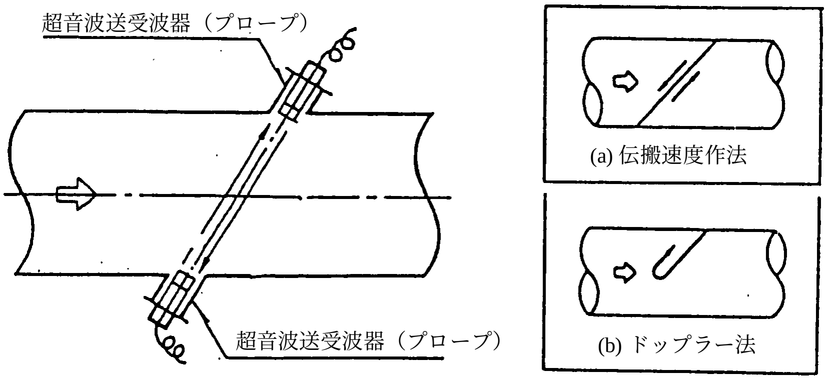


図 1.2.19　超音波流量計の原理

2）特　　徴

１．配管の外側からでも流速の測定が可能である。
①既設の配管に特別な加工なしに、送水を中断することなく検出器を取り付けて、流量が測定できる。
②検出部は接液しないため、腐食、水もれなどに起因するトラブルがなく、メンテナンス・フリーである。
③圧力損失がない。
④口径が大きい場合に、他の流量計に比べ価格面で有利である。

2. 超音波が透過し、あるいは反射する流体であれば粘度、電気伝導度などの影響を受けずに測定が可能である。

なお、超音波量計は線流速を測定するため、電磁流量計と比べると偏流や旋回流の影響を受けやすい。そのため、上流側10～20D（Dは管路直径）、下流側5D程度の直管長を必要とする。各種のバルブなどの下流に設置するときには、更に長い直管長を必要とする。

⑧コリオリ流量計

1)測定原理

図1.2.20において、Ａ点とＢ点を固定したＵ字形パイプを上下に振動させる。

パイプ内を流体がＡ点からＢ点に流れると、流路の前半ＡＣ間では、流体の質量と流速の壙に比例したコリオリ力が振動を妨げる向きに発生し、流路の後半ＣＢ間では、振動を助ける向きに発生する。その結果、パイプはＣＤ軸の周りにねじられる。ねじれ角度はコリオリ力に比例しているので、この角度を計ることにより質量流量を知ることができる。

パイプの形状はＵ字形に限らず、さまざまな形をとることができる。たとえば、図1.2.21のようにＡＢ間を直線で結んでも、ＡＢの中点であるＣ点のまわりに、コリオリ力によるねじれを起こすことができる。

コリオリ流量計は振動を利用しているだけに、本質的に外部からの振動の影響を受けやすい。現在では２本のパイプを共振させ、パイプ間の相対的な位置からねじれ角度を測定し、外部振動の影響を排除する工夫がされている。

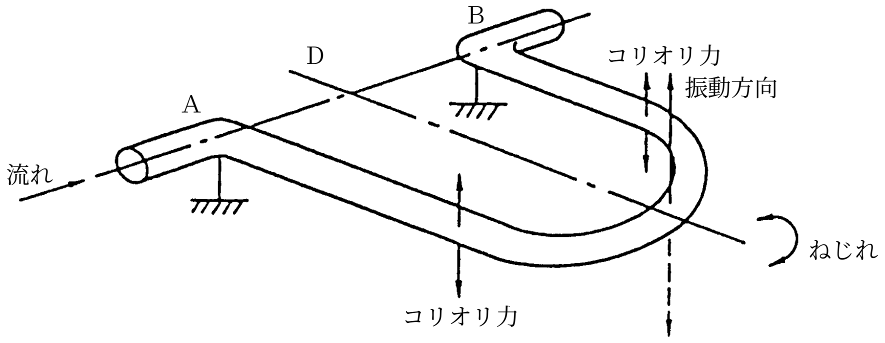


図1.2.20　Ｕ字形パイプにおけるコリオリ力

2）特　　徴

①質量流量信号が直接得られる。

測定精度は測定値の0.4%。流量範囲を狭く限定すれば、さらに高い精度も可能である。このように、高精度の質量流量信号を１台の計器で得ることができる。

②広範囲の液体や、スラリが測定可能である。

水、薬液、石油類などの一般的液体のほか、高粘度液体やスラリも計ることができる。

③流速分布の影響がない。

パイプ内の流れは、乱流でも層流でも、測定精度に影響しない。

④流量レンジが広い。

フルスケールを変えることにより、同一口径で100：1の流量レンジをカバーできる。

⑤流路に障害物がない。

パイプ内に障害物がないので、固形分を含むスラリを流すことができる。流量計の上流側にストレーナを置く必要がない。

⑥脈動流に追従できる。

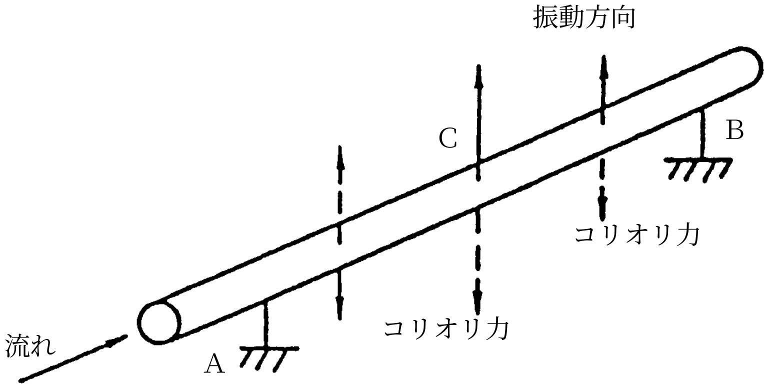
フランジャ・ポンプやダイアフラム・ポンプから発生する脈動流は、多くの流量計にとって誤差要因となるが、コリオリはこれに追従できる。

⑦可動部がない。

　パイプの振動はあるが、振幅が小さいので可動部のない計器と見なすことができる。薬液による腐食やスラリによる磨耗の問題がない限り、部品交換のための定期点検を必要としない。

⑧密度信号が得られる。

　パイプの固有振動数は流体の密度によって変化する。したがって、パイプの振動数から密度信号を得ることができる。



　以上、現在実用化されている代表的な流量計を説明した。これら流量計もプロセス流体による選定を間違えたり、フィールドにおける取付方法などをあやまると、その機能はさることながら、効果もでてこないので十分な検討が必要である。

　表 1.2.12 に各種流量計の比較を示す。

各種流量計の比較

この表は、各種の流量計について大略の目安を示し、流量計選択時の参考としたものである。
特別な考慮を払えば、適用範囲は拡大可能のものもある。

(1)フルスケールの±%
(2)指示値の±%

形式		最小管径	最大管径	高温	低温	高圧	気体	液体	けん濁物	耐食性	精度(1)	価格	備考
しぼり式(差圧式)	同心エッジオリフィス	20A	3000A	350℃	-100℃	150kg/cm^3	可	可	やゝ可	普	2%	低	極めて一般的
	四分円オリフィス	20A	250A	350℃	-100℃	150kg/cm^3	可	可	やゝ可	普	2%	低	高粘性に適
	フローノズル	40A	750A	500℃	-100℃	150kg/cm^3	可	可	可	普	2%	中	高温、高流速に適
	欠円、偏心オリフィス	80A	350A	350℃	-100℃	100kg/cm^3	可だが無意味	可	適	普	3～4%	低	沈殿物を含む時、適
	ベンチュリ管	50A	1200A	300℃	-100℃	100kg/cm^3	可	可	可	普	2%	高	圧力損失を低くしたい時に適
	インテグラルオリフィス	15Aのみ		80℃	-40℃	140kg/cm^3	可	可	不可	普	5%	低	微少流量用 差圧伝送器に内蔵
電磁流量計		2.5A	2600A	160℃	-10℃	20kg/cm^3	不可	適	適	良	0.5～1%(2)	高	圧力損失が殆どない。 流体は導電性あること。
YEWFLO過流計		25A	150A	300℃	-40℃	50kg/cm^3	スチーム可	可	可	普	1%(2)	低	低コスト、圧力損失小
面積式流量計		10A	150A	250℃	-50℃	100kg/cm^3	可	可	やゝ可	普	1～2%	中	小流量、高粘性に適
ターゲット式流量計		20A	100A	250℃	-40℃	100kg/cm^3	可	可	適	普	1.50%	中	沈殿物を含む時と高粘性流体に適
容積式	オーバル式流量計	10A	350A	200℃	-35℃	100kg/cm^3	不可	適	不可	制約が多い	0.2～0.5%(2)	高	高精度 メンテナンスが面倒
	ルーツ式流量計	20A	350A	150℃	-30℃	30kg/cm^3	可	可	不可	制約が多い	0.2～0.5%(2)	高	高精度 メンテナンスが面倒
タービン式流量計		40A	600A	120℃	-30℃	50kg/cm3	可	可	不可	制約が多い	0.2～0.5%(2)	高	高精度 パルス発信に適
超音波流量計		150A	3000A	60℃	0℃	配管による。	不可	適	原理による	良	1～1.5%	高	小サイズでは割高だが大サイズでは安くなる。
せき式またはパーシャルフリューム		水路巾0.5m	水路巾6.3m	常温		大気圧	不可	適	やゝ可	普	3～4%	低	開水路用
P－Bフリューム		250A	2400A	常温		大気圧	不可	適	適	普	3%	中	円管開水路用

表1.2.12　各種流量計の比較

1.2.3　発信器

プロセス制御における、伝送機能として発信器（または伝送器ともいう）がその役目を担っている。その中でもプロセス制御の中で最も多く用いられている差圧、圧力発信器に絞って説明する。

この差圧、圧力発信器は空気式の力平衡方式から、電気式に変わっていった。現在ではマイクロプロセッサ技術の発展により、よりインテリジェント化された発信器が出現し、より一般的に使われている。インテリジェント発信器は、一般的には、２線式で伝送ラインをディジタル通信回線と共用し、通信機能をもつ発信器で、スマート・トランスミッタと呼んでいる。

①発信器の構成と原理

発信器には差圧計用と圧力計用とがあるが、差圧計と同様に圧力計も容易に理解できるので、ここでは差圧計用の発信器について説明する。

1）受圧部

受圧部には、発信器の心臓部であるセンサと検出部（受圧部本体)、測定室カバー、締付ボルトなどから構成されている。次の図1.2.22に発信器の構造を示す。また図1.2.23に検出部の原理図を示す。

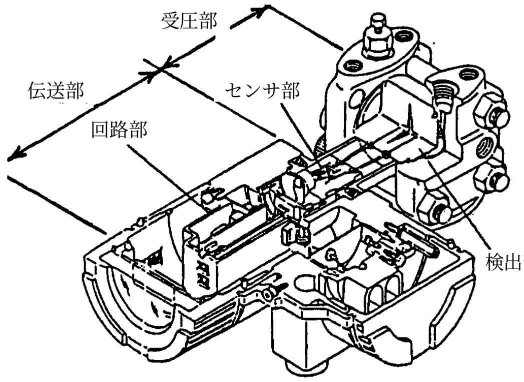


図1.2.22　発信器の構造例

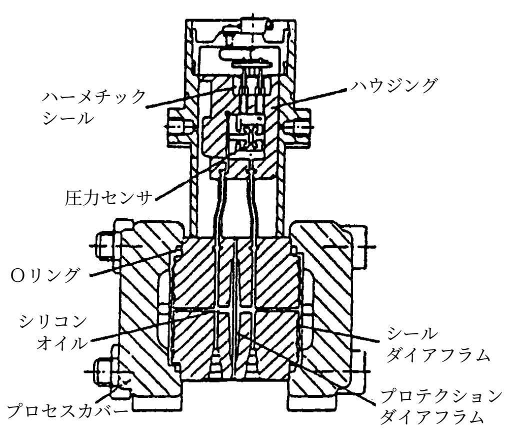


図1.2.23　検出部の原理図

2）センサ部

センサ部については前項で説明しているので、ここでは省略する。（圧力測定センサの項を参照）

3）検出部

検出部はシール・ダイアフラムなどと呼ばれる薄い金属膜で圧力を受け、検出部の封入液を介してセンサに伝える構造である。

差圧発信器では、過大圧に対してセンサを保護するしくみが工夫されている。

たとえば、図1.2.23では、中央にあるプロテクション・ダイアフラムとシール・ダイアフラムの相互作用により、過大圧保護のしくみを実現している。被測定圧力はプロテクション・ダイアフラムとセンサに同時に伝達されるが、通常の測定においてはプロテクション・ダイアフラムへの圧力作用は無視できるように設計されているため、測定すべき圧力は正確にセンサに伝達される。しかし、圧力がセンサの測定限界を超えたある値以上では、プロテクション・ダイアフラムが主に変形するため、シール・ダイアフラムがバックアップ・プレートに当たって、内圧上昇が抑えられる。この様にして、センサの保護や過大圧特性の改善をしている。

静電容量式センサを搭載した差圧発信器では、静圧によって発生する特性変動を改善するための構造を、検出部で工夫している。図２－２では、センサを細いパイプで封入液中に支持する（フローティング）構造としているため、高い静圧が作用したとき、センサの内外圧は同一圧力となり、スパン変動は低く抑えられる。

また、別の構造で静圧による特性変動を改善している例もある。

シール・ダイアフラムは温度変化による封入液の体積膨張を吸収するため、波形のついた0.1㎜程度

の薄板が使われる。材質にはステンレス、ハステロイC、モネル、タンタルなどが使われる。
封入液には安定性の高いシリコン・オイルが最も良く使われる。塩素や酸素の測定では、それらと化学反応を起こし難いフッソ系のオイルが使われる。

4）測定室カバー

測定室カバーは、ガスケット（O－リング）と共に検出部をサンドイッチするようにして、締付ボルトで固定される。材質はステンレス網やメッキ処理をした炭素鋼を一般的に用いる。腐食性のプロセスでは、シール・ダイアフラムと同一材質の耐蝕材を溶接で取り付けた測定室カバーを使用することもある。

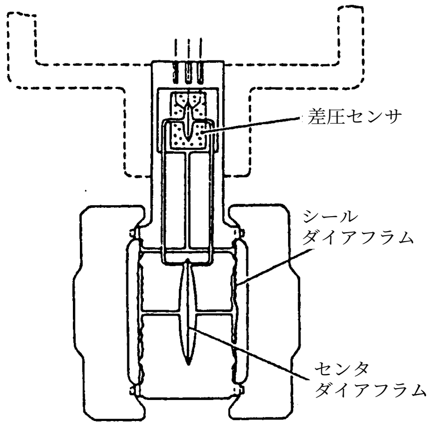


図1.2.24　代表的な検出部の構造図

締付ボルトにはクロム・モリブデン鋼などの高張力鋼が使用される。

②伝送部

伝送部は、センサで得られた空気的または電気的変化を空気信号（20～100KPa）または電気信号（4～20mAまたは1～5V）に処理変換するアンプ・ユニット、伝送する信号を出力する接続部（端子革）、内蔵形指示計などを入れたケースから構成されている。

ケースはポリウレタン系あるいはエポキシ系の耐蝕性塗料が焼付塗装されたアルミニウム合金製が一般的である。アンプ・ケース蓋、端子箱蓋、配線口などはO－リング、ガスケットにより防水されている。

また、耐圧防爆の場合には、錠締構造が付加され簡単に開けることができないようになっている。

上記のように伝送部には、空気式と電気式があるが、電気式伝送部について外部と接続する端子箱の中には、伝送用ケーブルを接続する端子とアースを配線するための端子箱で構成されている。

アンプ・ユニットは、電子部品をプリント基板上に実装したものであるが、エレクトロニクス技術の進歩を反映してめまぐるしく発展している。従来のものは、アナログIC（集積回路）、ダイオード、抵抗、コンデンサなどをスルーホールのプリント基板に取り付けたものであったが、アナログICはマイクロプロセッサやディジタルICに、抵抗・コンデンサなどは小型のSMT（表面実装技術）用に置きかわり、プリント基板もSMT用が使用されるようになった。これに伴い、アンプ・ユニットの保守、点検をすることが難しくなり、メーカはプリント基板ごとの交換を推奨している。

次に、最近のインテリジェント化された発信器の信号処理ブロック図1.2.25（富士電機製）をひとつの例として紹介する。

センサで得られた差圧はアナログ電気信号(A)として検出され、A/D変換器（アナログ→デジタル信号）でディジタル信号(D) に変えてマイクロプロセッサに送り込まれる。差圧信号以外に温度センサからの温度信号も取り込まれる。マイクロプロセッサでは送り込まれた情報を、EEPROMに収納されている直線性、温度などのデータを用いて、補正演算子温度などの誤差を除いている。演算結果をD/A変換（デジタル→アナログ信号）し、4～20mAの電気信号として伝送される。EEPROMは不揮発性メモリの電源のON/OFFでもメモリが失われることはない。

通信モジュール（デジタルI/O、通信インタフェースなどと呼ばれることもある）により、発信器とハンドヘルド・コミュニケ一タとの間でデジタル通信を行い、TAGNO. やレンジなどの定数の設定・変更、出力調整、データのモニタ、自己診断などを行うことができる。

この通信方式には、4～20mA信号にデジタル信号を重畳する方式やデジタル信号を送る際に4～20mA信号を切る方式などがあるが、通信プロトコルはメーカによって違いがあるので確認は必要である。

また、メーカにより多少の違いはあるが、発信器内部は検出部とセンサ部で構成される受圧部と、回路部、指示部をもつ伝送部分でできている。これを一般的に発信器または、伝送器とよばれている。

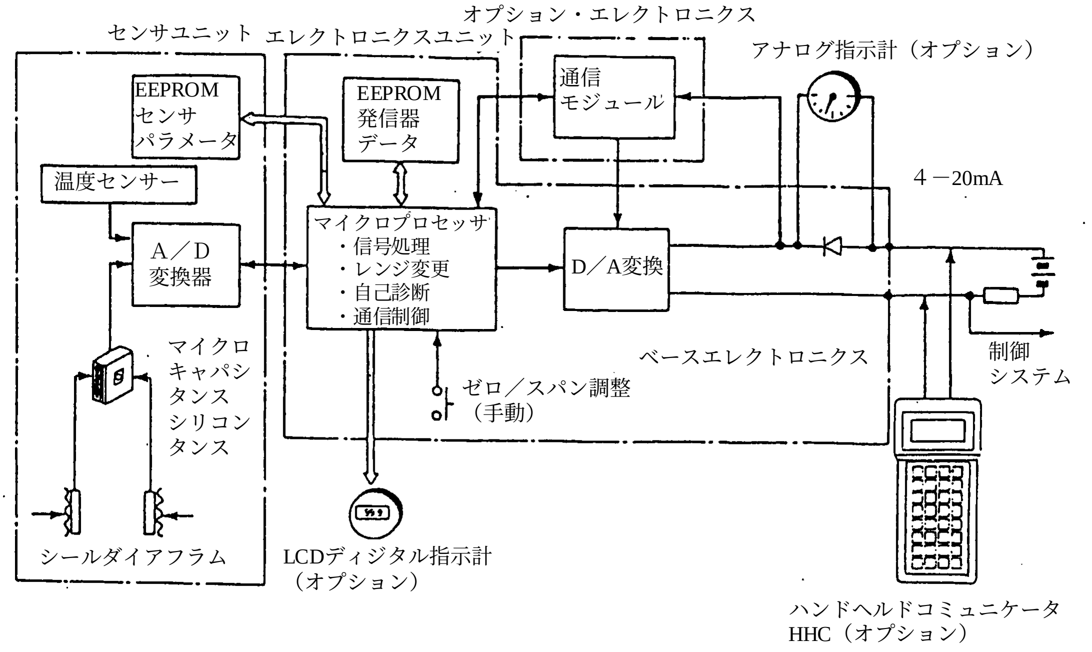


図1.2.25　発信器の信号処理ブロック図

1.2.4　操作部（調節弁）

(1) 調節弁（コントロールパルプ）とは何か。

プラントの運転監視および管理システムで取り扱われる計装の信号は、アナログ系とディジタル系に区分することができる。更に、これらの信号ループを機能的に区分すると下記のように区分される。

①アナログ系

1）制御ループ；プロセス量のコントロール

2）監視ループ；プロセス量のモニタリング

②デジタル系

1）制御ループ；シーケンス・コントロール（バッチ制御、緊急シャットダウン操作など）

2）監視ループ；ステータス表示（弁の開閉、ポンプの起動・停止など）

制御ループは一般に検出部（センサ）から操作部までの閉ループで構成されるが、その中で操作部として主として用いられる自動弁を一般に調節弁と呼び、機能的にはアナログ系をスロット・リング弁、ディジタル系をオンオフ弁として区分することが出来る。

・スロットリング弁は制御出力の変化に従って、プロセスを定常状態に導くための微妙な開度が要求される弁である。

・オンオフ弁は単に弁の開閉操作のみを行う弁である。

(2) 調節弁の基本構成

調節弁はプロセス流体に直接接触し、流体の制御を行う「弁本体部」、駆動源により弁本体部を動作させる「駆動部」および求められる制御機能を実現するための「付属機器類」で構成されている。次に、調節弁の構成を表1.2.13に、また調節弁の構造および名称を図1.2.26に示す。

表1.2.13　調節弁の構成

- 調節弁
  - 弁本体部
    - 弁本体
      - 弁形式
      - 弁口径
      - 圧力・温度定格
      - 接続形式
      - 材質
    - 上蓋
      - 上蓋形式
      - 材質
    - トリム
      - ポート・サイズ
      - 弁特性
      - 材質
  - 駆動部
  - 付属機器類
    - ポジショナ
    - 電磁弁
    - エア・セット
    - リミット・スイッチ
    - 手動ハンドル
    - ボリューム・ブースタ

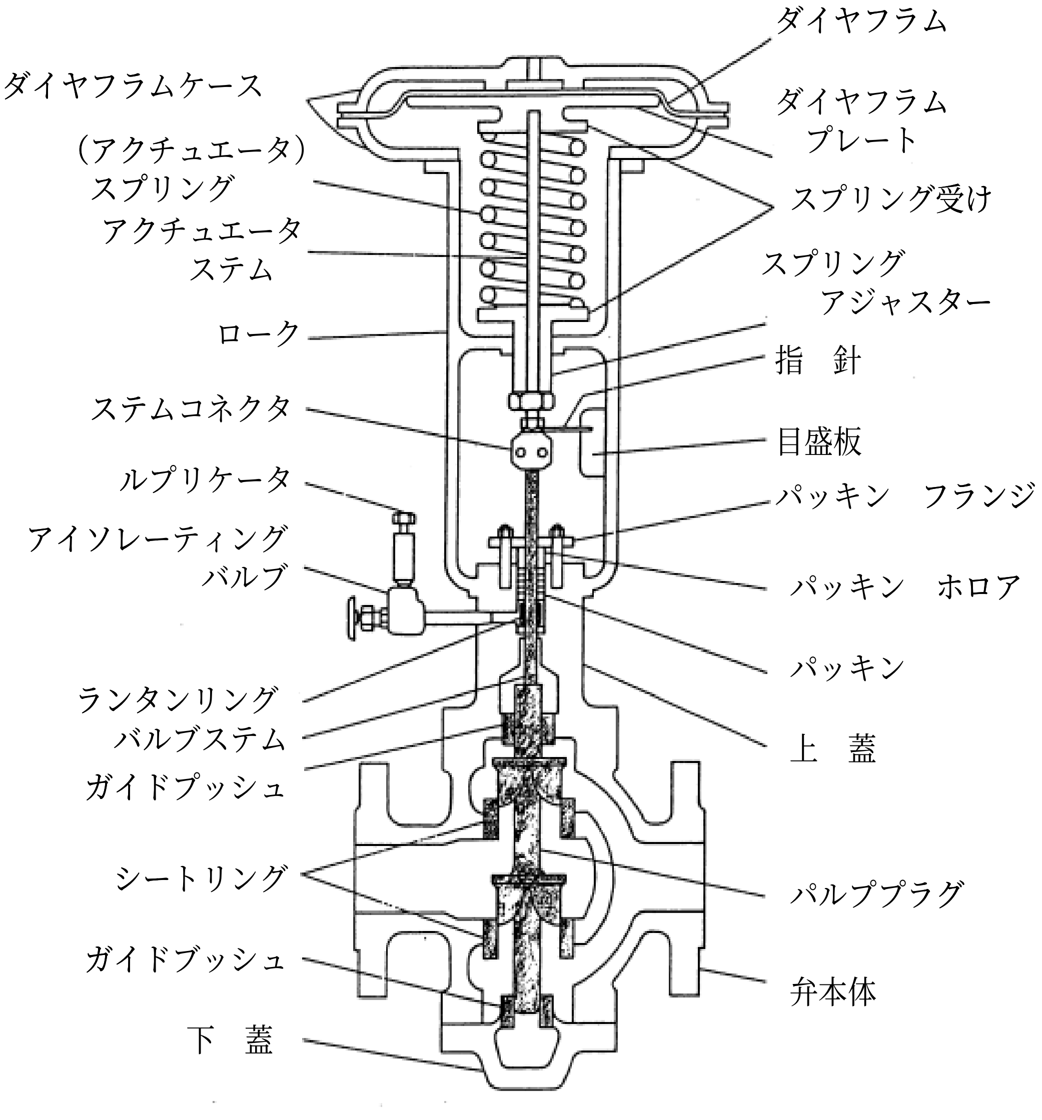


図1.2.26　弁の構造および名称

表1.2.14　調節弁の種類と用途

調節弁機種名	特　　徴	主な用途
グローブ単座弁	・便座漏れ率が小さい （定格ＣＶ値の0.01％） ・小口径弁まで製作可能 ・大口径弁あるいは高差圧の場合、駆動部が比較的大型になる	・弁口径が１インチ以下のとき ・便座漏れ量を小さく抑える必要があるとき ・その他汎用的に使用される
グローブ・ゲージ弁	・ポート圧力バランス孔により、流体不平衡力が小さくなり駆動部が比較的小型になる ・耐キャビテーション性に優れている ・低騒音ケージの製作が可能	・大口径および高差圧のとき ・キャビテーションの発生を抑制するとき ・液およびガス流体の騒音を抑制するとき
アングル弁	・単座弁同様便座漏れ率が小さい ・流れが滑らかで、流体が流れ易い ・キャビテーションによる弁本体エロージョンを受け難い	・配管の角に取り付けるとき ・スラリ流体や固着性の強い高粘性流体のとき ・キャビテーションによる弁本体エロージョンが予想されるとき
バタフライ弁	・弁容量（ＣＶ値）が大きい ・グローブ弁などに比べキャビテーションが発生し易い為、許容差圧が比較的小さい ・耐食性ライニングが可能	・低差圧で大容量のとき ・耐食性の点からゴムなどのライニングが必要なとき
三方弁	・入り出口の合計が３カ所 ・大口径あるいは高差圧のとき駆動部が比較的大きくなる	・２方向のプロセス流体を１方向に混流させたり、逆に２方向に分流するとき ・グローブ弁（２方向）２台を用いる場合とのコスト比較が必要
偏心軸回転弁	・弁容量とレンジアビリテイが大きく、小型・軽量 ・動作安定性に優れ、許容差圧が比較的大きい ・流れが滑らかで、ストレート・スルーの流れ易い構造	・大容量のとき ・ハイレンジアビリティを要求されるとき ・軟質スラリを含むプロセス流体のとき ・小型・軽量を要求されるとき
セラミック弁	・流れが滑らかで、ストレート・スルーの流れ易い構造 ・ポケットレスの流体滞留がない構造 ・接液部が全てセラミックの構造 ・流体の急激な温度変化が予想される場合には、事前検討が必要	・磨耗性の高いプロセス流体用 ・腐食性の高いプロセス流体用 （薬品など）

(4)バルブの流量特性

調節弁の流量特性は、弁閑度を０から100％まで変化させたときの弁開度と弁容量（ＣＶ値に等しい）との関係をいう。

流量特性には咽有流量特性」と「有効流量特性」がある。

・固有流量特性は、弁前後の差圧を一定とした場合の弁開度と弁通過流量との関係をいう。外乱を伴わない理想状態の流量特性である。

・有効流量特性は、弁を実際の系、おもに配管に取り付けた場合の流量特性である。

固有流量特性には、リニア特性とイコール・パーセンテージ特性がある。

①リニア特性

リニア特性は弁閑度とＣＶ値が比例する。

②イコール・パーセンテージ

イコール・パーセンテージ特性は弁閑度の変化に対するＣＶ値の変化割合が変化前のＣＶ値に比例する。

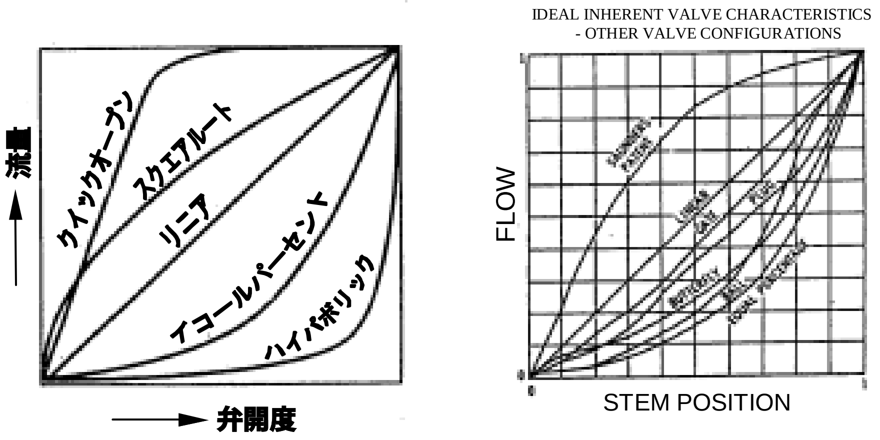


図1.2.27　固有流量特性（ISA Hand Book of Control Valveによる）

固有流量特性は、メーカ間製品比較等で便利なため良く利用されるが、実際に配管に取り付けられた調節弁は、開度変化と同時に弁前後差圧が変化する為、弁開度と弁通過流量の関係は固有流量特性から外れることになる。

遠心ポンプにより液体を移送する配管ラインに置かれた流量調節弁を例に取ると、ポンプの吐出圧力は流量増加に伴い放物線的に降下する特性を持っており、同時に、配管抵抗は流量の２乗に比例して増加する。したがって、流量を増加させるためには調節弁前後差圧を減少させるように、流量調節計は制御動作を行うことになる。この配管系においてイコール・パーセンテージ特性調節弁の弁開度と実流量は、より直線性を示すことが数学的・実験的に判明している。（リニア特性は、上方にふくらみ、直線から離れる。）

単座弁のように、固有流量特性を選択できる調節弁とバタフライ弁、痛心軸回転弁など弁の構造上固有流量特性がリニア／イコール・パーセンテージ特性から外れ、特殊特性となるものがある。

そこで弁本体側の流量特性に全面的に依存することなく、最新のスマート化された
ポジショナでは、制御信号と駆動出力の関係をパラメータにより自由に設定でき、制御性を向上させるための特性変更が可能な機能を搭載している。

(5) キャビテーションとフラッシング現象

バルブに液体を流す時に考慮しなければならない現象にキャビテーションとフラッシング現象がある。特に、液化ガスや蒸発し易い低密度の液体，飽和蒸気圧に近いプロセス圧力下での液体の場合に発生する可能性があるのでチェックを忘れてはならない。これらの対策はプロセス的な考察を含めた検討が必要である。

①キャビテーション現象

キャビテーションは、液体がバルブで絞られた直後に圧力が一度その液体の蒸気圧より低くなり、そのすそ後で圧力が流体の蒸気圧以上に回復する場合に起きる現象である。液体はバルブの絞り部の後で蒸気圧以下に下がったときに気化し気泡が発生する。この気泡は圧力が蒸気圧以上に回復すると急激に潰れ、その時に発生する局部的な高圧力がバルブのプラグやシートなどに損傷を与える現象をいう。

このキャビテーションを防ぐためには次のような方法が考えられる。

1）バルブの差圧は変えずにパルプの前側（一次側）の圧力を高くしてやる。たとえばバルブの位置を低くして静圧を上げたり、できるだけプロセスの上流側に配置する等を検討する。

2）流体温度を下げて蒸気圧を下げる。これもバルブの位置を工夫し、たとえば、熱交の上流（被加熱に使われる場合）に位置するようにしたりする。

3）差圧を分散し、バルブでの圧力の落ち込み（差圧）を小さくする。この目的のために、しばしば使われるのにリストリクション・オリフィス（圧力制御板）がある。いうまでもなく、オリフィスの孔径は一定であるので、流体変化が大きい場合はあまり有効でないが、簡便な方法の一つである。

この場合1）で説明したように、オリフイスはバルブの後側（二次側）に位置させ、調節弁の一次側圧力を高く保つことが大切である。

4）アンチ・キャビテーション・パルプの使用がある。これは差圧の分散をバルブの内部で行わせる構造のものであり、多段トリム、多孔式、ラビリンス式等各メーカにて工夫開発したものがある。一般バルブと比較するとコスト高になるので、プロセス条件、コスト等を考慮しながら採用するかどうか検討することが必要である。

②フラッシング現象

フラッシングはバルブの２次側の圧力が流体の蒸気圧以上にならないで、液体は蒸発した状態のままとなる。したがって、バルブの出口は気液混相となり、液体でのサイジングをしたバルブでは容量不足で閉塞状態となり、所定の流量が流れなくなる現象をいう。したがって、フラッシング・サービスの場合は、内弁をワンサイズ大きくしたり、懐の大きいバルブを使ったりする。キャビテーションとフラッシングは隣り合わせの関係にある。

与えられた正常運転時のプロセス条件でフラッシングするときは、最小流量時には逆にキャビテーションを起こす恐れがあるので充分注意が必要である。

(6）操作駆動部（アクチュエータ）

調節弁を構成する部分の中で、外部からの入力信号に応じてトリム（トリムとは、一般的にはプラグ、シート・リング、ステムをいい、調節弁では最も重要な部分をさす）の位置を定める働きをする部分を操作駆動部という。

操作駆動部には空気式、モータ駆動、油圧式等があるが、プラントで最も多く使われるのは空気式である。

①操作駆動部に要求される機能

調節弁は外部からの操作信号を受けて所定の動作を行うものであり、そのために操作駆動部には次のような機能を備えていなければならない。

1）ストローク　；調節弁に必要とするストロークを満足すること。

2）応答特性　；制御系に充分な応答特性（作動速度）を持つこと。

3）フェール・アクション；動力源喪失時には、必要に応じて制御系としての安全側への作動が可能であること。

4）出　力　；流体によってステムに発生する推力および軸封部の摩擦に打ち勝ち、さらに必要な場合には、流体を締め切るに足るシート面圧が得られる操作駆動力を持つこと。

5）剛　性　；いずれの面開度においても、ステムの推力に対して弁開度を安定に保つ

剛性があること。

6）その他の条件　　　；設置される場所の環境条件に対応できること（防爆、防塵、防水等）。十分な信頼性と耐久性を持ちメンテナンスが容易であること。

②操作駆動部の種類と特徴

操作駆動部には、それに使用する動力源により、大別して空気式、油圧式、電動式の３種類がある。それぞれ一長一短があるが、その特徴を表1.2.15に示す。

表1.2.15　各種操作駆動部の比較

	空　気　式	油　圧　式	電　動　式
応答特性	むだ時間は他形式に比べて大きいが、作動速度は早い	むだ時間は小さく作動速度も早い	むだ時間はないが作動速度は遅い
フェイルアクション	内蔵するスプリング又はボリュームタンクの併置で容易にかつ確実にとれる	困難（アキュームレータの併置等で不可能ではない）	その位置保持のみ可能である
出力	スプリングダイアフラム式は中、シリンダは大	油圧源内蔵型は小、別置形は大	最も大きい
剛性	他形式のものより小であるが、実用的には充分である	大きい	大きい
構造	簡単	複雑	複雑
防爆・防水	考慮不要	考慮要	考慮要
配管・配線	一般的には簡単	油圧源内蔵型は簡単 別置き型は複雑	一般的には簡単
保守	容易	複雑	複雑
経済性	安い	高い	高い

(7)付属機器の用途

調節弁（主として空気式調節弁）の付属品として次のようなものがある。

ポジショナ、電空変換器、エア・セット、電磁弁、リミット・スイッチ、開発発信器、ロックアップ弁、ブースタ・リレー、スピードコントローラ、閲度制限ストッパ、手動ハンドル、ボリューム・タンク、等があるが、次に主なものについて紹介する。

1）ポジショナ

ポジショナの主な機能は、可動部摩擦、操作駆動部のヒステリシスおよびプラグが流体から受ける不平衡力の影響に関係なく、調節弁への入力信号に対して、プラグの位置を常に正確に比例させることにある。

この機能の他に、調節弁に対する調節計からの出力信号を変えたり、また、弁作動方向を変えたりするものもある。

一般にポジショナは、次の様な場合に、付加し使用する。

(a）弁前後の差圧が大きい場合
(b）応答遅れが問題となる場合
(c）制御精度が要求され、静特性を改善したい場合
(d）複数台の調節弁を１つの信号で操作する場合
(e）標準スプリングと異なるスプリング・レンジを使用する場合
(f）調節弁に逆作動操作が要求される場合
(g）流量特性の改善をはかりたい場合

ポジショナは、入力信号により空気式（空空ポジショナ）と電気式（電空ポジショナ）とに大別される。最近は、調節弁電空ポジショナのスマート化が進み、多くのメーカがスマート電空ポジショナを市場に提供している。

スマート電空ポジショナの機能には次のようなものがある。

(a）リモート・キャリブレーション
(b）各種故障診断
(c）プロセス検知
(d）弁制御（PID）

2）エア・セット（フィルタ・レギュレータ）

・ポジショナ、その他への空気供給圧力を設定する。
・フィルタによる計装空気の清浄化

3）ロックアップ弁

空気源喪失時に、信号空気圧またはポジショナ出力空気圧を自動的に維持し、弁開度を現状の状態に保つ場合に付加する。

4）ブースタ・リレー

空気式操作駆動部の作動速度を増し、弁開閉スピードを速くする場合や、信号空気圧の伝送距離が長い場合、シリンダ式操作駆動部等の大容量の空気の供給、排気を必要とする場合に付加する。

5）開度制限用ストッパ

弁全開あるいは弁全閉の信号指示に対し、ストロークを制限して一定の流量に保ちたい場合に、機械的に弁開度を制限するストッパが付加される。

6）手動ハンドル

試運転や空気源喪失時において、特に調節弁の操作を手動で行うことが必要な場合には、手動ハンドルを付加する。

トップ・ハンドルとサイド・ハンドルがあり、トップ・ハンドルは開度制限用ストッパとして用いられることもある。

7）電磁弁

操作駆動部への入力信号を電気的に遠隔操作する場合に電磁弁を付加し、操作する。

電磁弁の選定にあたっては、電磁弁の作動と組合わせる調節弁の作動に対する「励磁弁開」あるいは「励磁弁閉」などの確認が必要である。

8）ボリューム・タンク

調節弁の複動式操作駆動部へ供給される空気の空気源喪失時または空気圧低下時に、複動式操作駆動部を作動させ、調節弁のポジションを弁開または弁閉に導くための操作空気を供給する高圧空気溜めの容器をいう。

第二種圧力容器に相当する場合には、ボリューム・タンクには通常安全弁および圧力計が設置される。

1.3　工業計器の保全の概要

プロセス・プラントの安全性と防災に対しての社会的要求は高く、それに対する企業の責任も一段と高まっている。

プラントの安全性と防災性を保つには、コストの投資が必要である。その費用の一部をプラントの安全保持に重要な役割を担っている計測と制御の設備に投資することによって、経済性を損なわずに、かつプラントの性能を保ちながら安全性を確保することが可能となる。

以下に述べる工業計器の維持・補修の概要は、プラントの安全と防災の基礎となる計測器や調節弁を念頭に入れながら紹介するが、個々については各論にて詳細を説明する。

1.3.1　アイソレーション

アイソレーションとは、現在、運転中のプラントに付随してその機能を発揮している、または発揮できる準備体制にある計測器、操作盤（盤類）、調節弁等をある理由によりプラントから切り離す（取外し）前工程をいう。

たとえば、流量発信器（差圧式）の場合は、

①プロセス流体を直接導いている導圧配管の取出元の第一バルブ（高圧側、低圧側）を完全閉止させ、発信器元の均圧弁を開き、発信器内の圧力を同圧力とする。同圧状態後、高・低側バルブを閉め、且つ導圧管内のプロセス流体ならびに発信器内の流体をドレンバルブ、ドレンプラグを開いて抜き取る。

②導圧配管や計測器の性能維持のためにスチーム・トレースや保温材が施されている場合は、スチームの取出バルブを完全に閉め、取外しの準備を行う。

1.3.2　取外し、取付け

アイソレーションされた計測器や調節弁等を、現在固定されているところより切り離す工程をいう。

すなわち、①発信器の端子箱（ケーブル接続箱）より信号線を外し、外したケーブルの養生ならびに端子箱の引込口の養生を行い、取外しの準備を行う。

②流量発信器を導圧配管から指定された工具類を使用し、完全に取り外す。そのときに発信器本体に荷重や、引張強度がかかることのないように充分気を付けることが重要である。

これに対し、取付けとは取り外した計測器をもとの状態に戻す場合を基本としている。

分解、点検、組立てを終えた計測器を取り付ける場合は、上・下の区分、流れの方向、前後の区分があるものは当然プロセス流体に合わせなくてはならない。また、取付固定時に片寄り、片絞め、ならびに計測器本体への荷重のかかりすぎや、引張り等の変形をもたないように水平、または垂直にしっかり固定する。

1.3.3　分解、点検、組立て

プロセス制御を司る計測器は、センサ、検出部、操作部であっても、ほとんどすべてがハード（機械もの）類の集合体である。そのため長時間にわたり厳しい環境のもとで作動し続けている。当然機械も

のは摩耗をし、電気部分は抵抗値の低下等の絶縁不良を起こすことが十分に考えられる。計測器の性能を保つために定期時に分解を行い、損傷を確認し、また損傷を負っている部品（パーツ）は交換を、また潤滑油の補給、洗浄を行う工程を分解という。ただし、分解は、復旧ができる範囲であること。

点検とは、計測器に規定されている性能を維持するために、ある基準にもとづいて計測器の異常の有無または良・不良を外観により調査確認し、各部分の異常・劣化を早期に発見することをいう。

点検には、日常点検、重点点検、定期点検に分類することができる。

組立てとは、必要性に応じて分解・点検を行った計測器のハードをもとの状態に復旧することをいう。

1.3.4　修理・交換

計測器や調節弁等のハードは分解、点検を行ったことにより、部品の異常、劣化、汚れ等が見られるものは、補修ならびに新しい部品との交換をすることにより、計測器としての性能を完全に復帰することをいう。

1.3.5　調整・校正

調整とは、1.3.3～1.3.4の工程によって修理・交換された計測器類が機能を完全な状態に戻ったことを確認する工程をいう。

校正とは、計測器の指示する値（測定値）が信頼できるかどうかを予め検証しておくことは、あらゆる測定において不可欠な事項である。そのためには、正しい値のわかっている標準器と比較し、計量器の目盛の偏り（器差）を明らかにしておくことが必要である。この工程を校正という。

たとえば、流量計の校正方法には実流校正法（WET法）と理論校正法（DRY法）がある。WET法には体積法、秤量法（質量法）そして比較法がある。

1.3.6　リストレーション

アイソレーションの反対語である。1.3.1～1.3.5までの工程により、実施された計測器や調節弁等のハード類をプラントや設備に戻すことにより、プラント・オペレーションが可能の状態にする工程をいう。

このリストレーションされた計測器類はプラントの実流を直接受けるため、圧力や温度の変化ならびに回転機類や配管よりの振動による計測器の変化、信号系の異常の有無を確認し、変化が見られるときは速やかな対応が必要となる。

1.4　トレーサビリティ

1.4.1　トレーサビリティ

トレーサビリティとは、測定結果から国際標準までさかのぼる校正経路のつながりを、その精度（不確かさの幅）を含めて、はっきり示すことである。

すなわち、すべての計測器、たとえば企業や大学、研究所などで使用する計測器は、公的に認められた機関（校正機関）や企業（認定業者）が持つ標準器によって校正しなければならない。その標準器はさらに国が指定した公的機関（指定機関）の持つ特定標準器によって校正されていなければならない。さらに、これらの公的機関の持つ国家計量標準は、各国の標準研究機関との間で国際比較され、相互承認されたものでなければならない。

このように「標準器または計測器が、より高位の標準によって次々に校正され、国家標準・国際標準につながる経路が確立されていること」をトレーサビリティという。

この計測標準のトレーサビリティという考え方は、1950年代の末にアメリカで、おそらく宇宙開発計画の推進に必要な高精度・高信頼性の計測技術の確立を主な動機として提唱され、1961年国立標準局National Bureau of Standards（NBS）の支援のもとに、アメリカ全土にわたる組織・全米標準研究所会 National Conference of Standards Laboratories）が編成されるに及んで、この考え方が急速に普及をみせるようになった。そして現在においては、国際標準化機構 International Organization for

Standardization（ISO）などの国際機関において、関連する各種の規格・基準を整理・統合を進めると共に、基準適合性の評価と認証の方法について一般的なルールを設ける作業を進めてきた。その成果は新たな国際規格または国際指針（ガイド）として多く出版されている。その中でも企業や団体の「品質システム（品質管理を実施するための組織、責任、手順)」の基準を管理項目ごとに定めた国際規格「ISO 9000シリーズ」は、その中軸をなすものであるので参考にしてほしい。

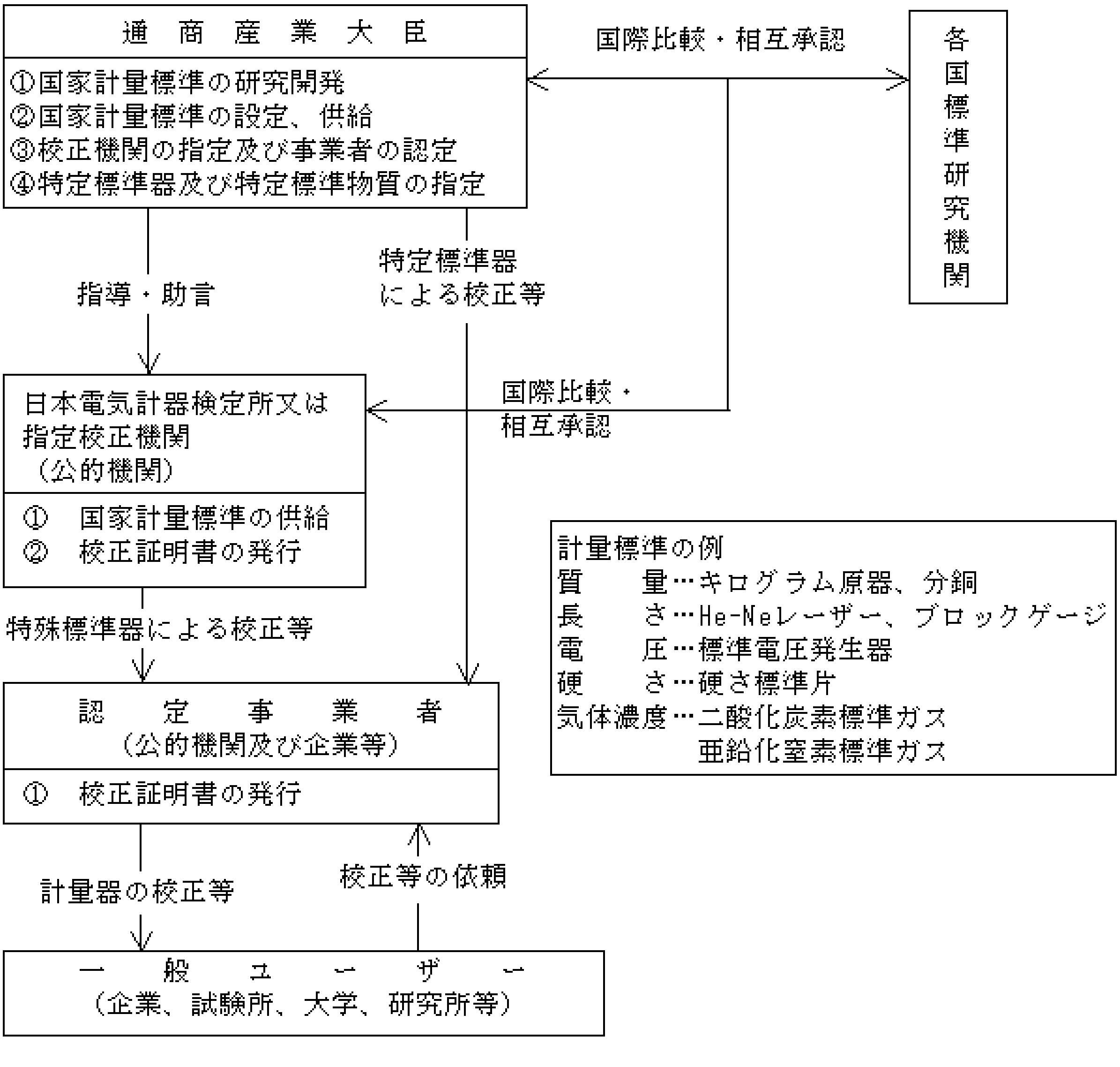
1.4.2　トレーサビリティ制度

新計量法（平成４年５月公布、同年11月施行）では「工業製品の生産に欠かせない計量器の校正に用いられる計量標準を国から産業界に確実に供給することを目的として」このトレーサビリティ制度を新しく規定した。

そのしくみを表1.3.1に示す。

この制度の対象となる計量標準は、産業界のニーズや計量標準の供給体制の整備状況との兼ね合いを見て、当初は現在標準が供給されているものが中心となる。具体的には、国家計量標準を通商産業大臣が特定標準器等として指定することとなる。この特定標準器等は国、日本電気計器検定所または指定校正機関が保有することとなり、特定標準器等による校正等を受けた計量器等（特定二次標準）は認定事業者（計量器メーカ、公的機関など）が持つことになる。計量器の一般ユーザは、この特定二次標準器等による校正等を受けた場合には、認定事業者から国家標準とのつながりを記した校正証明書の交付を受けることができる制度がある。

表1.3.1　トレーサビリティ制度



第２章

フィールド機器の保全

2.1 温度検出瑞

2.1.1熱電温度計

(1)熱電温度計の必要条件と構造

熱電温度計は、熱電対・保護管・補償導線から構成されている。以下に、それぞれの必要条件と構造について述べる。

① 熱電対の必要条件

一般に熱電対は実用上、下記の条件を満たすものが望ましい。

1）耐熱性、耐食性がよく、機械的にも丈夫なこと。

2）長時間使用しても熱起電力が大きいこと。

3）同種の熱電対では同一の特性のものが得られ、互換性があること。

② 熱電対の構造

熱電対を鹿成する２本の金属線を素線と呼び､それらの先端部を接合したものを裸熱電対という。素線の接合方法は線の酸化物や汚れなどを十分に取り除いた後、それを密着させたり、ねじり合わせたりして接触させ、接触面を銀ろう付け、抵抗溶接圧接、あるいはアーク溶接など熱電対の種類、線径および使用温度によって異なる。接合部の形状と溶接方法を図2.1.1に示す。

裸熱電対は絶縁するために絶縁管を通す。これを絶縁管付き熱電対という。絶移管付き熱電対も、このままでは絶縁管が折れたり割れたりしやすく､また使用雰囲気から素線を保護できないので､実際には保護管の中に挿入して用いる。

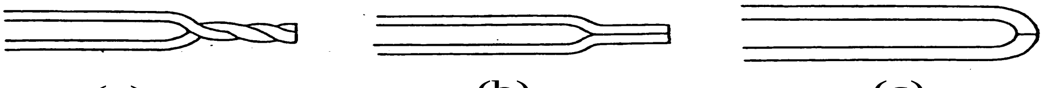


図2.1.1　接合部の形状と溶接方法

③ 保護管の必要条件

熱電対に用いる保護管は、各種プラントの配管や容器等に熱電対とは独立した形で取付けを可能とし、温度測定個所の環境条件（圧力、流速等）による外力や、腐食性雰囲気等から熱電対を保護する。保護管は少なくとも次の条件を満たす必要がある。

1）使用雰囲気、使用対象に対しての温度、圧力に耐える。

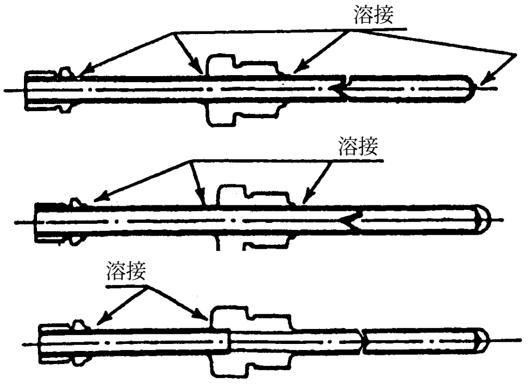
2）高温でも機械的強度を有し、変形せず温度の急変に耐える。

3）酸性、還元性ガスに強い。

4）雰囲気に対して、素子の気密が保て、管内部より有害ガスを発生しない。

④ 保護管の構造

保護管は､使用材料により金属保護管と非金属保護管に分類できるさ金属保護管の構造を図2.1.2非金属保護管の構造を図2.1.3さらにそれぞれの代表的な保護管を表2.1.1、表2.1.2に示す。



・引抜構造；引抜管の一端を封じ、取付部および埼子箱接続用のネジを溶接。

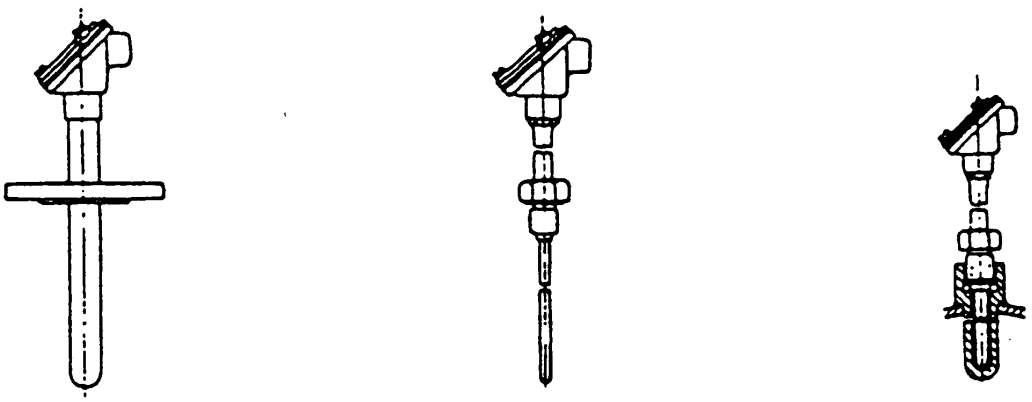
・くり抜き構造;丸棒から管部をくり抜き加工をし､一取付部および端子箱用接続ネジを溶接。

・一体くり抜き構造；棒から取付部を含めて管部をくり抜き加工し、 端子箱との接続は別の管を使用する。

図2.1.2　金属保護管の構造

表2.1.1　代表的な金属保護管

種　類		最高使用温度℃	特　　徴
銅C1100		300	低温用。耐食性・熱伝導性良い。
黄銅C3601		300	加工が容易。低温用。
ニッケル、銅合金NiCu		500	アルカリ、非酸化性の酸および塩類の水溶液に対する耐食性良い（アンモニア、海水）。
軟鋼STPG		600	強度大で安価。湿気があると酸化著しい。
カロライズ軟鋼		800	軟鋼の耐熱性、耐食性改善。還元ガスやイオウに弱い。
オーステナイト系ステンレス鋼	SUS304	850	最も一般的なステンレス鋼。還元炎やイオウに弱い。
	SUS321	850	SUS304の高温耐食性を改善したもの。還元炎やイオウに弱い。
	SUS310S	1100	ステンレス鋼中最も高温強度大。耐酸化性良い。
	SUS316	850	SUS304より高温における耐食性良い。
チタンT		300	アルカリ、海水、塩化物、塩素ガス、有機薬品、硝酸に対する耐食性良い。
サンドビックP4		1050	耐熱性良い。還元炎やイオウにも強い。
インコネル600		1100	高温強度大。酸化性雰囲気に適す。高温で水素を通す。還元炎やイオウに弱い。



フランジ取付構造　　ネジ込み構造　　グラント取付構造

図2.1.3　非金属保護管の構造

表2.1.2　代表的な非金属保護管

種　類	最高使用温度℃	特　　徴
磁器PT-2	1300	アルミナで急熱・急冷に弱い。機械的には丈夫。
磁器PT-1	1450	PT－2に比べて耐熱度が高い。
磁器PT-0	1600	高純度アルミナで、急熱・急冷には特に弱い。気密性大。
石英QT	1000	急熱・急冷に強いが、機械的強度は小さい。 酸性に強く、アルカリに弱い。
炭化珪素SiC	1550	急熱・急冷に強いが気密性に劣る。耐摩耗性良い。
窒化珪素Si3N4	1400	急熱・急冷に強い。多孔質で気密性に欠ける。
ふっ素樹脂	250	耐食性が良い。
硬質ガラス	500	酸化防止、がス侵入防止、急熱・急冷に弱い。

⑤補償導線の必要条件

熱電対の設置場所と計器との間の距離が長い場合に、熱電対素線をそのまま計器に接続すると、途中で誘導障害により精度が低下したり、また高価にもなる。熱電対素線に代えて他の導線で熱電対と計器を接続すると、熱電対素線と導線の接続点で接触電位差が発生し、それが接続点の温度によって変動し誤差を生ずる。これを避けるために、補償導線を用いて熱電対と計器を接続する。補償導線は、常温を含む相当な温度範囲内で、組み合わせて使用する熱電対とほぼ同一の熱起電力持性をもつ。

⑥補償導線の構造

補償導線は、一般用（90℃以下で使用）、耐熱用（150℃以下）と高耐熱用（200℃以下）の３種類があるJISにより文字記号または表面編組の色によって区別される。直径0.65㎜程度の素線を７本程度より線にし、絶縁被覆をしてある構造なのでハンダ付けは難しい。構造図を図2.1.4に示す。

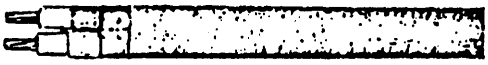


図2.1.4　補償導線の構造

(2) アイソレーション

アイソレーションの作業は、およそ次のようになる。

①準備として、測定器および工器具類を揃える。なお、校正試験に使用する測定器は、国家標準とのトレーサビリティが確保されたものとする。
（電圧電流発生器、デジタル・マルチメータ、メガー）

②客先担当者に作業内容、作業時間を連絡する。

③ＤＣＳの場合、画面上での札掛け〈点検中またはCALモード・SCAN－OFFモード等）処置を客先担当者に依頼する。

④計器を手動操作に切り替える。

(3) 取外し

①誤配線を防止するために、取り外す熱電対のＴＡＧ番号を記録しておく。

②外した配線（補償導線〉には、ビニール・テープを巻く。

③高温の炉から保護管を抜くときは、静かにゆっくりと引き抜く。

〈安全のポイント〉

1）炉温が高い場合、炎の吹出し等による火傷の恐れがあるので、客先担当者に炉圧を下げてもらう。

2）保護管が高温になっているので、保護手袋の着用や治具を使って作業する。

3）高所の場合、脚立の準備や安全帯の着用等もあわせて実行する。
4）炉下の保護管を引き抜くときは、異物が眼に入らないように保護眼鏡を掛けて作業する。また、炉内、炉上、炉下など粉塵が多いところでは、防塵マスクを使用する。
④熱電対は、指示機構が検出部にないため、作業不安定な高所などに設置されている場合が多いので、必ず安全帯を着用する。
⑤取り外した後の穴は、プラントの状況（運転中、休止中）に合わせ、耐火レンガもしくはガラスウール等で塞ぐ。

（4）保守・点検
①補償導線の点検
1）導線被覆や心線の損傷状況の確認を行う。傷みが激しく補修の必要があれば、客先担当者に報告し指示をあおぐ。
2）補償導線の絶縁性を確認するため、線間と対地間の絶縁をメガーにて測定する。
メガー測定後は、抵抗を入れてアースに落とし帯電圧分をゼロにする。
②保護管の点検
保護管の亀裂、曲がりなどを確認する。取付ねじ付きの場合、ねじ部の変形、損傷状態も確認する。
③　碍子、素線の点検
1）熱電対を引き出し、碍子の割れや変色していないかを確認する。
2）素線挿入時、保護管先端より3～5㎜程度浮かす。先端まで入れるとゴミがある場合、保護管と素線が融着するので注意する必要がある。

（5）修理・交換
保護管を修理・交換する場合、接続形式、形状・寸法および材質を見誤らないよう十分に確認する必要がある。その際機械的強度および物理的・化学的適合性および挿入長さの検討が必要である。
①機械的強度の検討
耐圧強度（保護管円筒部に生ずる円周応力）、曲げ強度く保護管の根元部に生ずる曲げ応力）、共振（保護管の背後に生ずる強制振動）の検討。
②物理的・化学的適合性の検討
1）全面腐食　；ステンレス鋼の一般的な耐食性を判断する基準。
2）粒界腐食　；オーステナイト系ステンレス鋼が500℃～800℃に加熱される場合に起こる。
3）孔食　；ステンレス鋼で局部腐食が進行すると局部電池が形成され腐食が加速される。
4）応力腐食割れ；曲げ、拡管、溶接などの加工を受けた場所が高温の場合、引張応力が加わると応力腐食割れを生ずる。防止策としては、歪取焼鈍によって残留応力を除いたり、材料自体に引張応力がかからないようにする。
③挿入長さの検討
炉内温度計測を行うとき金属保護管の場合、外径の15～20倍、非金属保護管の場合外径の10～15倍の挿入長が必要である。
設置例を図2.1.5に示す。

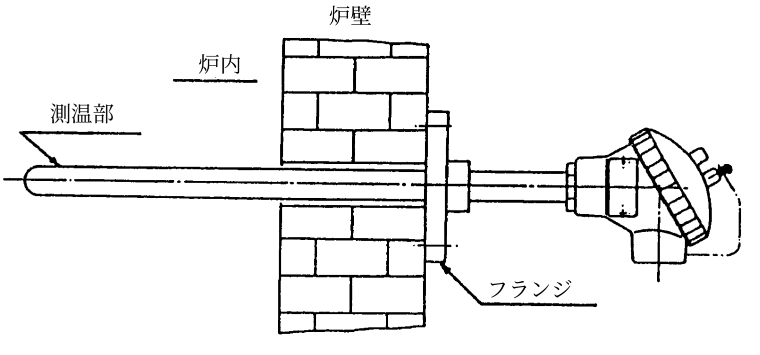


図2.1.5　設置例

（6）調整・校正
①熱電対補正試験
プロセスで使用中の熱電中を定期的に試験し、精度の合否を明確にして不良のでる前に熱電対を更新し、つねに正確

な熱電対を使用する目的で補正試験を行う。以下に補正試験手順を述べ、図2.1.6に補正試験の実際例を示す。

1）素線を電気炉にセットし、基準熱電対と比較試験を行う。校正点は、測定範囲の３点以上が望ましい。（例；測定範囲700～1300℃の場合、800，1000，1200℃）

〈注意事項〉素線を扱う時は、手を良く洗いかつ素線をアルコールで清拭する。

2）比較試験結果、精度を外れた場合は、素線の天地変換（先端部と後瑞部の入替）を行い再度比較試験をする。この際精度内であることを確認する。

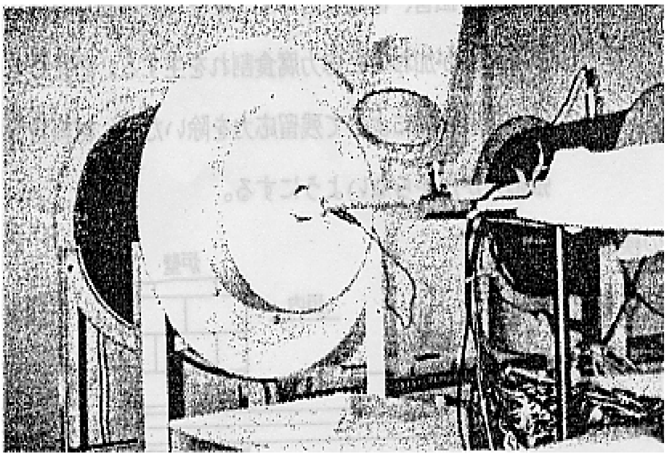


図2.1.6　熱伝対補正試験の実際例

3）精度外れや不良などにより新品の素線を使用する時は、可能ならばガス抜きを行う。

熱電対試験用電気炉に基準熱電対と被補正用熱電対素線を挿入し、温接点を一定試験温度に保ち、基準熱電対と被補正熱電対の発生㎷で比較する。

②ループ校正試験

熱電対のループを定期的に試験し、精度の合否を明確にする。以下に手順を記す。

1）電圧電流発生器をｍｖ／Ｉ変換器入力端子＋と－に接続する。

2）デジタル・マルチメータをｍｖ／Ｉ変換器の出力端子に接続する。

3）指定された測定温度レンジ４点から５点に対応する冷接点を補償された熱電対起電を入力し、各点に対応したｍｖ／Ｉ変換器出力をデジタル・マルチメータにて測定する。同時に計器またはＤＣＳの場合、ＣＲＴの温度指示を読みとる。

4）校正試験結果が指定された値を越えた場合は、ゼロ・スパン調整を行う。
（詳細については、各社取扱説明書を参照のこと）

5）測定器を取り外し、間違いのないように配線を元に戻す。バーンアウト回路が正常に動作するか確認する。

バーンアウト基本回路を図2.1.7に示す。

【機能説明】

何らかの原因で熱電対が断線した場合、温度指示をアップまたはダウンスケールに振らし、制御状態を安全方向に移す。

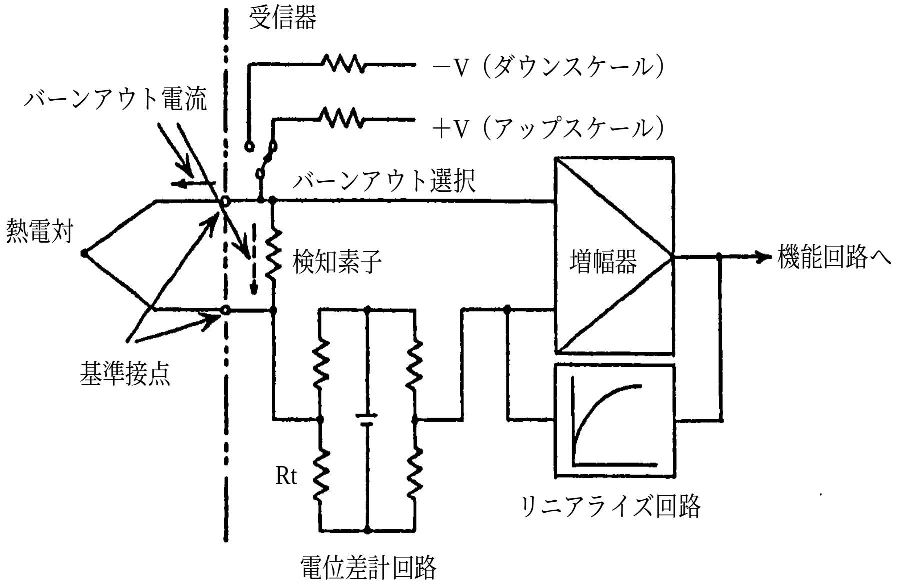


図2.1.7　バーンアウト基本回路

（7）取付け

①校正済みの熱電対を現場に取り付ける。保護管を高温炉に取り付け（挿入）するときは静かにゆっくり挿入する。急いで挿入すると、急激な温度変化で非金属保護管は割れるので注意すること。

②取付（挿入）部は、モルタル等で目塗りをし、炉からの火炎吹出しを防ぐ。

③高圧部へ取り付け（挿入）る時は、パッキン等を用いて気密を守る。

④補償導線を＋と－の極性を間違えないよう接続する。補償導線を結線する時、配線の短絡・地落に注意すること。

（8）リストレーション

①計器またはDCSの場合、CRTに温度指示が出ていることを確認する。
（常温指示以上か確認）

②計器を手動から自動操作に切り替える。

③チューニング（P．Ｉ .D）係数は、作業前後と変わりないか確認する。

④客先担当者に作業終了を報告する。

⑤ DCSの場合、画面上での札掛け（点検中またはCALモード・SCAN － OFFモード等〉取外処置を客先担当者に依頼する。

2.1.2　抵抗温度計

(1) 測温抵抗体の特質と構造・特性

抵抗温度計は、測温抵抗体とサーミスタがあるが、最も一般的な測温体は次のような特質がある。

①測温抵抗体の特質

1) Pt（白金）測湿抵抗体は、長期にわたり安定な測定が可能である。

2) 回路を流れる電流（1.0, 2.0, 5.0mA）が大きいため、ノイズには比較的強い。

3) 測温抵抗体の細い金属線をマイカ、ガラス等に巻いて作るエレメントは、機械的や振動に弱い。長期間振動の続く場所では、断線する恐れがある。

4) 形状が大きく、熱の伝達がわるい構造のため応答が遅い。

②測温抵抗体の構造・特性

測温抵抗体は、抵抗素子、内部導線、絶縁物、保護管等で構成される。

抵抗素子；温度を検知してその量を抵抗値に変換する部品。（一般には白金）

内部導線；抵抗素子と測温抵抗の端子とを接続する導線。

絶縁物　；内部導線の絶縁として用いる。耐熱性、耐寒性および絶縁性に優れていることが必要。

保護管　；抵抗素子、内部導線が被測定物または雰囲気によって侵されないように、気密で十分な耐熱性、耐寒性および耐久性をもっている。

保護管付測温抵抗体の構造を図2.1.8に示す。

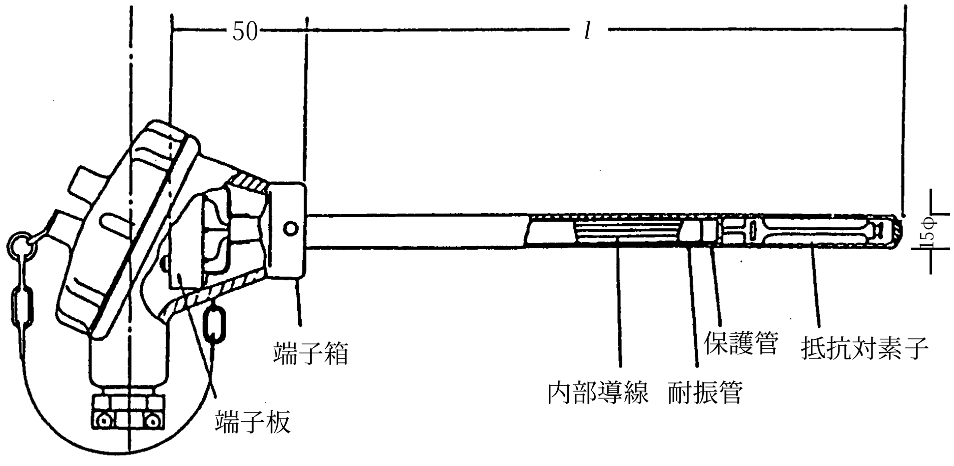


図2.1.8　保護管付測温抵抗体の構造

内部導線の結線方式は、２導線式、３導線式および４導線式がある。その結線方法を図2.1.9に示す。

２導線式；抵抗の両端にそれぞれ１本の導線を接続した形式。

３導線式；抵抗素子の一端に２本、他端に１本の導線を接続し、導線抵抗の影響を除くことができるようにした形式。

４導線式；抵抗素子両称こそれぞれ２本の導線を接続し、導線抵抗の影響を除くことができるようにした形式。

(2) アイソレーション

アイソレーションの作業は、およそ次のようになる。

①準備として、測定器および工器具類を揃える。なお、校正試験に使用する測定器は、国家標準とのトレーサビリティが確保されたものとする。

（デジタル・マルチメータ、標準抵抗器、メガー）

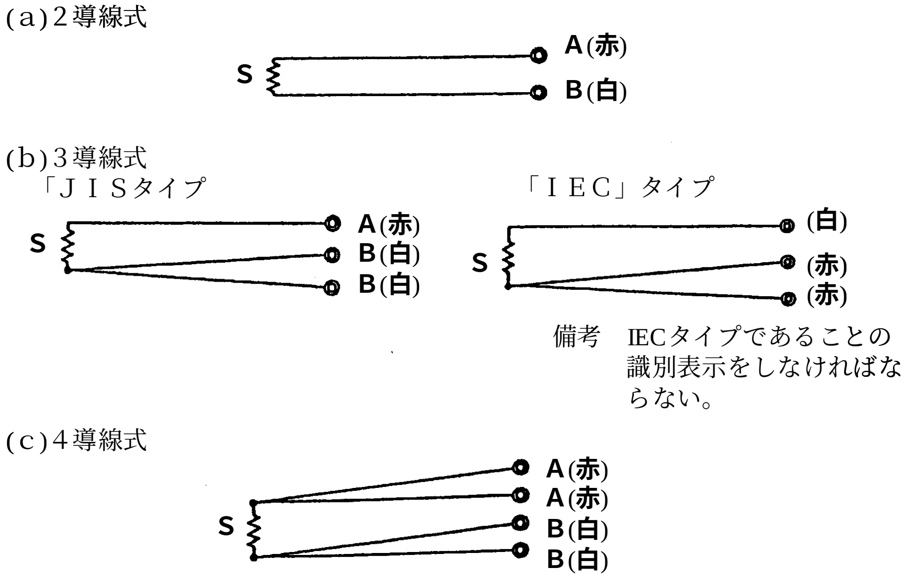
②次のことを客先担当者に依頼、連絡する。

1) 作業内容、作業時間。

2) DCSの場合、面面上での札掛け（点検中またはCALモード・SCAN－OFFモード）処置。

3）保安機能付（インターロック機能）の場合の解除処置。

③　温度変換器または計器への供給電源を断にする。



備　考　◎は端子を、Sは抵抗素子を示し端子と抵抗素子を結ぶ線は内部導線を表す。

図 2.1.9　内部導線の結戦方式

（3）取外し

①誤配線を防止するために、取り外す測温抵抗体にＴＡＧ番号を記録しておく。

②外した配線には、ビニール・テープを巻く。

③取外しの際、保護管から液体等が少しでも出てきたらネジ部などを元に戻し、客先担当者にその旨を連絡する。

④測温抵抗体は指示機構が検出部にないため、作業上不安定な高所などに設置されている場合が多いので、必ず安全帯を着用する。

（4）保守・点検

測温抵抗体の性能を維持し、所定の精度に保ち、故障の発生を防止するためには保守作業は重要な役割をもつ。取外し後の点検作業はおよそ次のようになる。

①点検作業において、測温抵抗素子に衝撃や振動を与えないようにする。

②測温抵抗素子に酸化腐食、変形や損傷の異常がないか確認する。

③測定誤差を防止するために、素子の挿入長を記録しておく。

④内野導線被覆・芯緑の損傷状況を確認する。傷みが激しく補修の必要があれば、客先担当者に報告し指示をあおぐ。

⑤保護管の亀裂、曲がり、腐食等の確認をする。

⑥外部配線引出口のシール状況を確認する。

⑦一連の点検作業後に、測温抵抗素子の抵抗値をデジタルマルチ・メータで確認する。

一般的な保守・点検管理基準を表 2.1.3 に示す。

（5）修理・交換

保守・点検結果、測温抵抗体に何らかの異常があった場合には、異常箇所の修理または交換を行う。測温抵抗体の交換では、次のことを確認する必要がある。

①　規定電流の確認

測温抵抗体は、規定電流によって精度が補償されているため、交換時には同一規定電流のものを使用

する。規定電流が異なった場合、素子の自己加熱くジュール熱により誤差発生となることがある。

② 仕様の確認

使用場所の条件が変更されていないことを確認し、変更がある場合は、構造、構成材料を再検討の必要がある。

③ 挿入長の確認

測温抵抗体の挿入長は、熱伝導誤差に深くかかわりをもつ。同一構造でない物を使用する場合は、交換前の挿入長に合わす必要がある。

表2.1.3 保守・点検管理基準

項　目	基　準	管理周期		実施および処置
		始動時	運転時	
温度に対する抵抗値	規定の許容差以内のこと。	○	定修	氷点および100℃付近において校正する。 規格外の場合交換。
絶縁抵抗	室温で100MΩ/100VDC以上 使用時は２MΩ以上。	○	定修	メガーで測定。絶縁劣化の原因調査し、清掃・乾燥などの処置で改善されない時交換。
保護管外観・寸法	汚れ・曲がり・傷などおよび腐食・摩耗・割れ・酸化により肉厚減がないこと。	○	定修	目視による点検、ノギスなどによる測定。 腐食・摩耗・割れ・酸化などにより有
取付部	ねじ部やフランジ部の締付不足および漏れ等がないこと。	○	定修	触手・目視・聴覚による点検。取付部の締直しおよびパッキン類の交換。
接続導線	導線被覆・芯線に損傷がないこと。	○	定修	目視・触手による点検。損傷の場合、導線の交換。

(6) 調整・校正

抵抗温度計の校正は、測温抵抗体の温度に対する抵抗値チェック（単体）と受信器の規準抵抗値に対する指示チェック（ループ）である。

① 単体校正試験

1) 測温抵抗体を恒温槽にセットし、標準測温抵抗体と比較試験を行う。校正点は、測定範囲の３点以上が望ましい。（例；測定範囲０～100℃の場合、30, 60, 90℃の３点）比較試験に用いる恒温槽について、表2.1.4で示す。

2) 比較試験結果、精度を外れた場合は、同一の物と交換する。

表2.1.4 比較試験に用いる恒温槽

恒温槽の種類	温度範囲℃	恒温槽に使用する主な液体
低温槽	－100～0 － 70～0	石油ベンジン（液体窒素などによる冷却） 石油ベンジン、アルコール（ドライアイスなどによる冷却）
水温槽	0～100	水
油温槽	100～300	シリコンオイル
硝石温槽	300～600	硝酸カリウム（KNO3）と硝酸ナトリウム（NaNO3）の混合物（質量比１：１）

備考 1. 恒温槽を用いる部屋は、換気扇などを用いて有害な蒸気などを排出する。

2. 低温槽ではアルコール石油ベンジンを用いるため、火気に注意する。

3. 油温槽に用いる油は、粘度、引火点などによって使用できる温度範囲が異なる。また、使用温度、使用時間によって油の粘度が変化する。

4. 硝石温槽の温度は、650℃を越えてはならない。容器には、ステンレス鋼を用い、耐熱性の床に置く。近くに可燃性物がないようにする。
アルミニウムなどの酸化しやすい物質を液槽内で使用しないこと。溶融石英製の温度計を直接挿入すると表面が侵されるので、保護管を使用する。

② ループ校正試験

1）標準抵抗器を温度変換器端子、３導線式ではA、B、Bに接続する。

2）デジタル・マルチメータを温度変換器の出力端子に接続する。

3) 指定された測定温度レンジ４点から５点に対応する抵抗値を入力し、各点に対応した変換器出力をデジタル・マルチメータで測定する。
同時に計器またはＤＣＳの場合、ＣＲＴの温度指示を読みとる。

4）校正試験結果が指定された値を超えた場合、ゼロ、スパン調整を行う。
（詳細については、各社取り扱い説明書を参照のこと）

5) 測定機器を取り外し、間違いのないように配線を元に戻す。バーンアウト回路が正常に動作するか確認する。（バーンアウト回路は熱電対ループ校正試験参照のこと）

(7) 取付け

① 校正済みの測温抵抗体を現場に取り付ける。
素子内蔵型は、保護管に衝撃、振動を与えるとエレメントの断線につながる恐れがあるので注意すること。

② 測温抵抗体外部導線との接続は、＋と－の極性を間違えないように注意すること。
さらに接続は、しっかりと端子を増締めること。
また、取付環境上水滴が発生する箇所には、接続後ロウかウレタン・ゴムを流し込んで、端子が露出しないように防水処置を行う。

(8) リストレーション

① 温度変換器または計器への供給電源を入にする。

② 客先担当者に次のことを依頼・報告する。

1）作業終了と校正結果。

2）ＤＣＳの場合、画面上での札掛け（点検中またはCALモード・SCAN-OFFモード）取外処置。

3）保安機能付（インターロック）の場合は、復帰処置。

2.1.3　放射温度計

(1) 放射温度計の種類と構造

放射温度計は、波長帯域により、単色放射温度計、部分放射温度計、全放射温度計および多色放射温度計に分類される。放射温度計の光学系の例を図2.1.10に示す。

測定対象からの放射エネルギーは、保護管の窓を通過した後、レンズ、円すい鏡あるいは凸面鏡によって検出素子に集光され、電気信号に変換される。

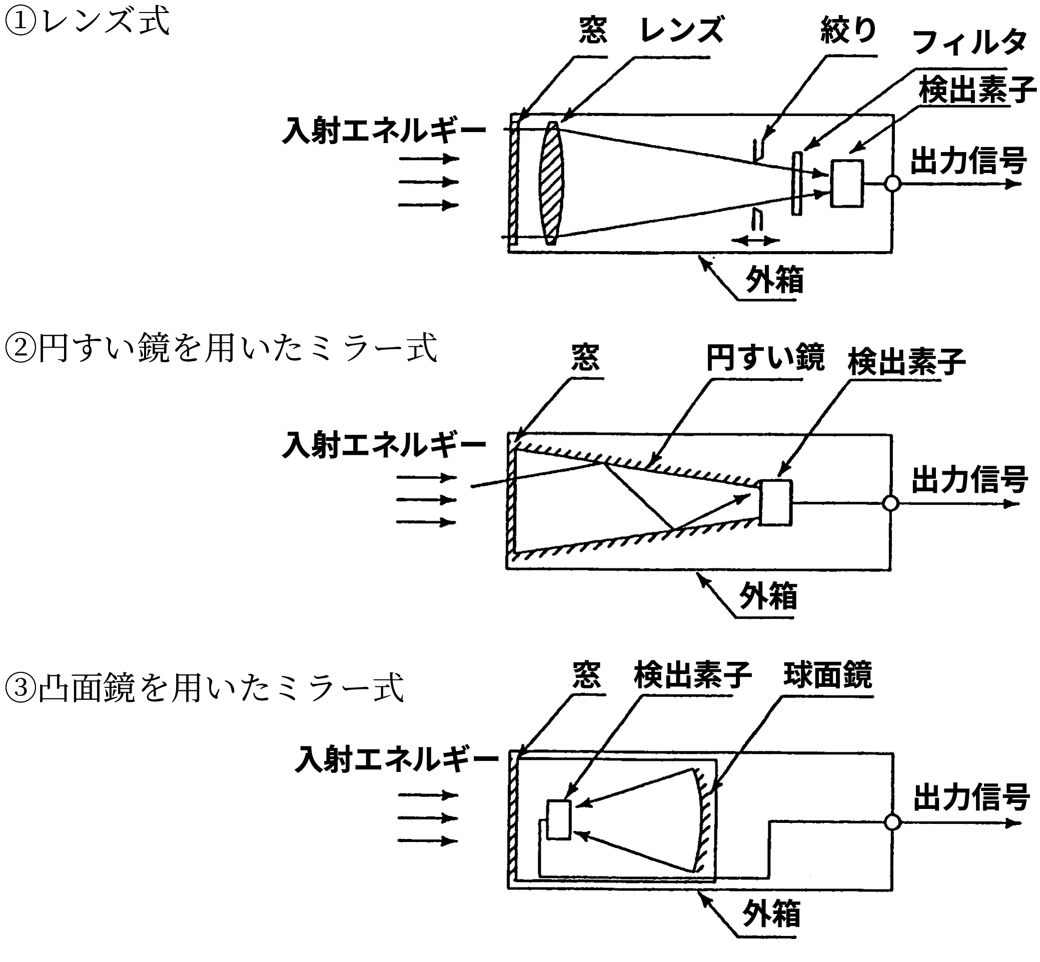


図2.1.10　放射温度計の構成

(2) アイソレーション

アイソレーションの作業は、およそ次のようになる。

① 準備として、測定器および工器具を揃える。なお、校正試験に使用する測定器は、国家標準とのトレーサビリティが確保されたものとする。
（電圧電流発生器、デジタル・マルチメータ）
単体校正試験用として、黒体炉を測定温度に昇温する。

② 客先担当者に作業内容、作業時間を連絡する。

③ ＤＣＳの場合、画面上での札掛け（点検中またはCALモード・SCAN-OFFモード）処置を客先担当者に依頼する。

④ 温度変換器（リニアライザー）への供給電源を断にする。

放射温度計の構成を図2.1.11に示す。

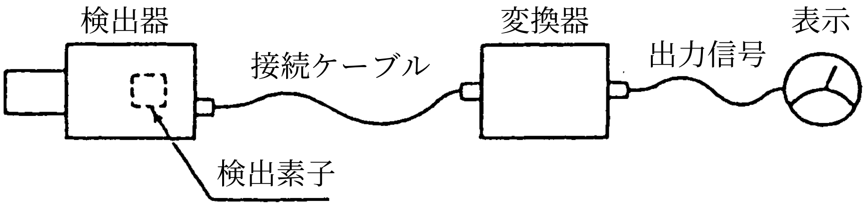


図 2.1.11　接続ケーブルを用いた放射温度計の構成

(3) 取外し

プラントの休止での定期点検もしくは、修理時に変換器と対に取り外す。

①誤配線を防止するために、取り外す放射温度計のTAG番号を記録しておく。

②信号線と電源線を間違えないよう、荷札に名称を記入し取り付けておく。

（コネクタ方式で、間違える恐れがない場合は、名称の記入は不必要）

③取り外す前の放射率補正値を記録しておく。

④放射温度計用としての冷却水、エア・パージのバルブを閉にする。

(4) 保守・点検

保守・点検作業は、およそ次のようになる。

①　光学部の清掃点検

検出器のカバー・ガラスなどの光学部は、常に清浄に保つ必要がある。汚れや曇りがないか確認し、異常が認められたらガーゼにアルコールを含浸させ拭き取る。

②　検出器のゆるみ点検

検出器の取付部分がしつかり固定されているか確認する。

③　配線の接続やコネクタのゆるみ点検

検出器、変換器、受信計器などの端子ネジやコネクタにゆるみがないか確認。

④　冷却水の水量と水温の確認

水冷を行っている場合、水量は適切か、水漏れはないか、水温は40℃以上になっていないか確認する。

⑤　エア・パージ量の確認

エア・パージをおこなっている場合、エアの量・圧力、および清浄度合いを確認する。

(5) 修理・交換

保守・点検結果、放射温度計に何らかの異常があった場合は、異常箇所の修理または交換を行う。放射温度計の交換では、次のことを確認する必要がある。

①　検出器と変換器の仕様（電源、信号等〉が合っているか確認する。

②　放射率補正の設定は、交換前の値になっているか確認する。

③　検出器と変換器の接続ケーブルが正しいか確認する。

その他、一般的な留意点を述べておく。

1）振動・衝撃

振動・衝撃が長期的に加わると、温度計としての信頼を損なう恐れがある。検出器と固定台、固定台と取付場所の間に防振ゴム等を入れると効果がある。

2）測定距離

温度計と被測定物との距離は、測定精度上で重要なポイントとなる。測定距離は計算値で概略を決めておくと調整の手間が省ける。

3）視野確保

温度計と被測定物間の光路中に、水滴、水蒸気、煙などが存在していれは、間欠または連続的な視野欠けとなるため、これらを防止する対策が必要である。

(6) 調整・校正

放射温度計の校正とは、異体空洞を校正しようとする放射温度計で測定したときの示度と票体空洞の真温度との関係を求めることである。主な校正試験方法は、

次のように分類される。

1) 定点黒体炉を用いた校正試験方法

2) 比較黒体炉を用いた校正試験方法

3) 標準黒体炉を用いた校正試験方法

4) 認定事業者に依頼する方法

ここでは、比較黒体炉を用いた校正試験方法について述べる。

① 比較黒体炉を用いた単体校正試験

1) 校正された標準放射温度計を用意し、図2.1.12のように比較黒体炉の空洞と標準放射温度計の光軸が合うように位置の調整を行う。

2) 温度計と視野の焦点を黒体炉底面の中心に合わせる。

3) 比較黒体炉を校正する温度に設定し、標準放射温度計の指示が安定するまで放置する。(放射率補正設定値は1.00とする)

4) 標準放射温度計の指示が安定したなら、標準放射温度計と被校正放射温度計を数回置き換え、標準放射温度計の測定値を比較具体炉の真値とし、そのときの被校正放射温度計の測定値が校正値となる。

5) 校正点は、測定範囲の3点以上が望ましい。

(例;測定範囲600～1100℃の場合、700. 800, 1000℃の3点)

図2.1.12　温度計のセット

② ループ校正試験

1) 電圧電流発生器を変換器入力端子＋と－に接続する。

2) デジタル・マルチメータを変換器出力端子に接続する。

3) 指定された測定温度レンジ4点から5点に対応する放射温度起電力を入力し、各点に対応した、変換器出力をデジタル・マルチメータにて測定する。

(放射率補正設定値は1.00とする)

4) 校正試験結果が指定された値を越えた場合は、ゼロ、スパン調整を行う。

(詳細については、各社取り扱い説明書を参照のこと)

5) 測定機器を取り外し、間違いのないように配線を元に戻す。

(7) 取付け

① 校正済みの放射温度計を現場に取り付ける。

放射温度計は、振動や衝撃に弱い部分もあるので、取り扱いには注意すること。

② 放射温度計と外部配線の接続は、信号線と電源線を間違えないように注意すること。

③ 冷却水とエア・パージのバルブを開にし、それぞれの量を確認する。

④ 放射温度計にフィルタ等の条件付部品が取り付いているものは、作業前の状態になっているか確認する。

⑤　放射温度計と測定対象物とのセンター・リングを確認する。

⑥　放射温度計に懐中電灯等光を照らし、計器またはDCSの場合CRTに指示が出ることを確認する。

(8）リストレーション

①　温度変換器または計器への供給電源を入にする。

②　放射率補正値が、取り外す前の値に正しくセットされたか確認し、確実にロックする。

③　客先担当者に次のことを依頼・報告する。

1）作業終了と校正結果。

2）DCSの場合、画面上での札掛け（点検中またはCALモード・SCAN-OFFモード）取外処置。

2.2　圧力（差圧）発信器

2.2.1　圧力測定

（1）絶対圧とゲージ圧

圧力発信器などで圧力を検出する際に、圧力の表現の仕方に絶対圧、およびゲージ圧がある。絶対圧は、真空状態を基準にして測った圧力で、圧力と他の変量との間の関係式などではこの絶対圧を用いる。ゲージ圧は、大気圧を基準にして測った圧力である。差圧とは、ふたつの圧力の差を表す。したがって、ゲージ圧で表された圧力を絶対圧で表すためには、そのときの大気圧を加算する必要がある。圧力が絶対圧かゲージ圧かを明確にする必要のある場合は、圧力値の後に絶対圧は“abs”、ゲージ圧は“G”の記号を付ける。

圧力の単位は、国際単位系（SI〉ではPa（パスカル）、およびPaと併用可能なbar（バール）が規定されている。国際単位系を含めて現在使われている主な圧力単位の換算表を表2.1.1に示す。

表2.1.1　圧力単位の換算表

Pa	bar	kg/?	atm	mmH_2O	mmHg
1	1×10^{-5}	1.01972×10^{-5}	9.86923×10^{-6}	1.01972×10^{-1}	7.50062×10^{-3}
1×10^{5}	1	1.01972	9.86923×10^{-1}	1.01972×10^{4}	7.50062×10^{2}
9.80665×10^{4}	9.80665×10^{-1}	1	9.67841×10^{-1}	1.0000×10^{4}	7.35559×10^{2}
1.01325×10^{5}	1.01325	1.03323	1	1.03323×10^{4}	7.60000×10^{2}
9.80665	9.80665×10^{-1}	1.0000×10^{-4}	9.67841×10^{-5}	1	7.35559×10^{2}
1.33322×10^{2}	$1.33322\times10\text{-}^{3}$	1.35951×10^{-3}	1.31579×10^{-3}	1.35951×10	1

（2）圧力（差圧）発信器の種類

① 空気式圧力発信器

空気式圧力発信器は、前述の圧力の表現の仕方によって、絶対圧発信器、差圧発信器、およびゲージ圧発信器（通常、圧力発信器という）に分けられる。流体圧力は、二重ダイアフラム・カプセルに加えられ、その変位が力棒に伝わりフラッパを動かし、パイロット・リレーで空気信号に変換し出力する。

図2.2.1に空気式差圧発信器の動作原理を示す。

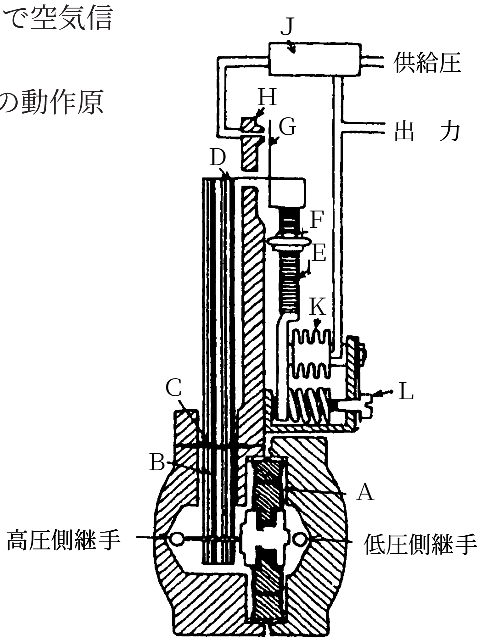


図2.2.1　空気式差圧発信器の動作原理

② 電気式圧力発信器

電気式圧力発信器も、空気式と同じように３種類に大別される。図2.2.2に電気式差圧発信器く静電容量式）の動作原理を示す。

流体圧力は感圧ダイアフラムを変位させ、電気容量に差が生じる。この電気容量の差を電流に変換して、測定差圧範囲に対応した４～20mA DCの出力を得ている。圧力検出素子にはこの他に、ストレン・ゲージ式、圧電式、半導体式などがある。

③ 現場型圧力指示発信器（空気式）

現場型圧力指示発信器は、プロセス圧力の変化を受圧エレメントにより機械的な変位に変換し圧力指示、またリンク・レバー機構を介してフラッパを動かしパイロット・リレーで空気信号に変換し出力する。動作原理を図2.2.3に、受圧エレメントの種類を図2.2.4に示す。

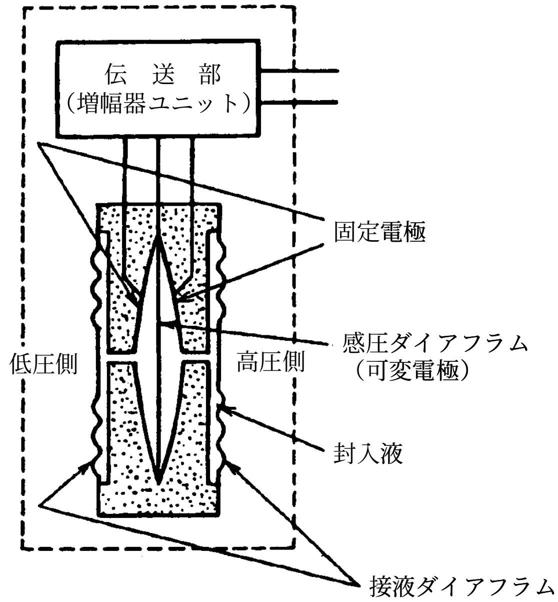


図2.2.2 電機式差圧発信器の動作原理

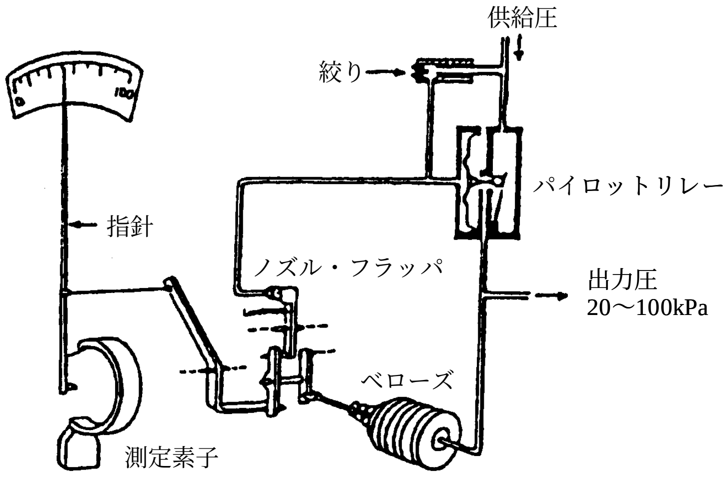


図2.2.3 現場型圧力指示発信器の動作原理

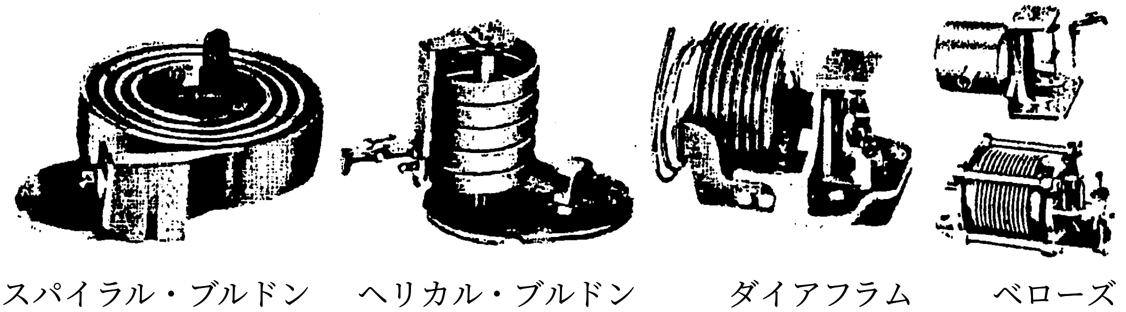


図2.2.4 受圧エレメントの種類

（3）受圧部形状の種類

① 標準型

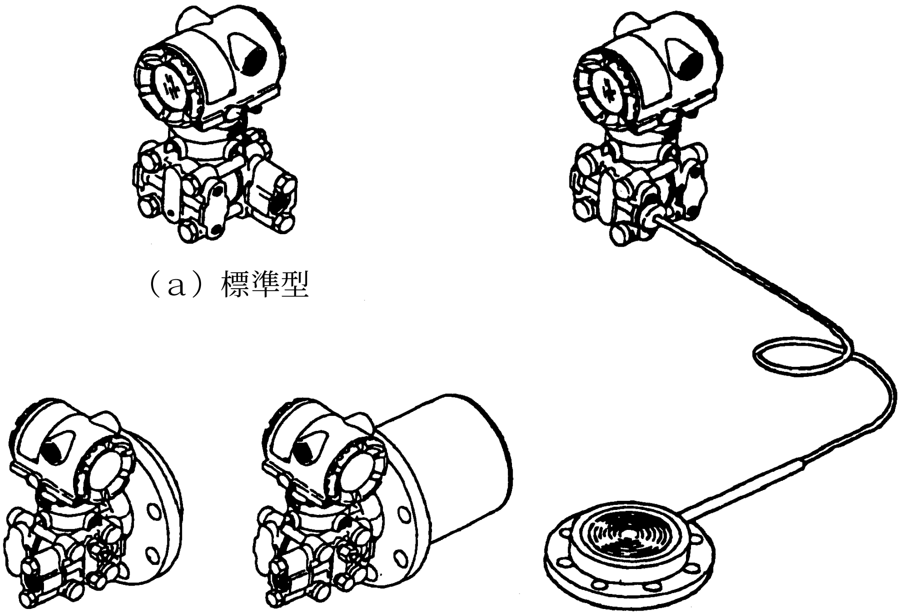
プロセス圧力の取出し口より導圧管を介し、気体、液体、蒸気の圧力測定に用いる。

② フランジ取付型

凝固性、沈殿性液体などの圧力測定に用いる。

③ 隔膜置換器型

圧力計または差圧計の受圧部分に被測定流体が直接導入されては困る場合に用いる、キャピラリにより発信部と結合しシール液が封入されている。



（a）標準型　（b）フランジ取り付け型　（c）隔膜置換器型

図2.2.5　受圧部形状の種類

2.2.2　アイソレーション

（1）対象機器の識別

機器を取り外す前段階として、まず機器の識別を行なう。機器本体に識別札を付け、プロセス名称、Tag №、場所など識別できる項目を記入する。また取り付けの際の間違いをなくすためにも、機器が取り付いているスタンションなどに同様に識別札を付けておく。電気式発信器の場合には中央操作室など信号受信端の制御盤内発信器用供給DC電源（ディストリビュータ）にも制御盤の展開接続図などを調べ、取付場所を明確にし識別札を付ける。

（2）供給電源・供給空気の停止

対象機器が識別され、再度間違いがないことを確認した後、機器に供給される電源または空気源を停止する。この際、空気式では機器の供給圧用ゲージを、また電気式では指示計や表示器が付いている場合その状態を見て停止を確認する。停止操作をしたバルブ、機器、スイッチ類は、開禁止または投入禁止札を付け、対象機器を取外した後に誤って供給源が投入されないようにする。

（3）プロセス圧力の閉止

プロセス圧力取出し部のバルブを閉にし、開禁止札を取り付ける。なおこの閉止弁は通常は操作することがなく動きがかたいため、工具などを用いて確実に閉止する。

2.2.3　取外し

（1）解線・養生

電気式圧力発信器の場合、端子箱を開け解線する。その際、テスタにて接続端子に電圧が印加され

ていないことを再度確認し、ワイヤー・マークなど接続状態の記録をとる。フィールドが防爆区域の場合は、爆発の危険があるため電源が供給されている状態で、端子箱を開けてはならない。前述の供給電源の停止を確実に行う。解線した線は、短絡、接地しないようにビニール・テープや絶縁キャップなどで絶縁する。機器本体から配線ケーブルを引き抜き、さらにビニール袋で雨水などが混入しないように養生する。

（2）導圧管・フランジの取外し、養生

プロセス圧力がパルプで閉止されていることを確認した後、残圧、残液を排出させる。標準型の圧力発信器ではドレン・プラグまたはペント・プラグにて排出できるが、フランジ取付型の場合はボルト・ナットを少しづつ緩めて行う。

残液は現場に飛散しないように適当な容器を準備してそこに排出する。なお流体が薬品など危険なものに対してはゴム手袋、保護めがね、マスクなどの保護具を必ず着用する。取り外しあとのフランジ開口部には、残液の飛散および異物の混入を防ぐため、ビニール・シートにて覆いをし養生する。

（3）機器本体の取り外し

導圧管、受圧部の取り外し養生が終了した後、本体の取外しに着手する。標準型の発信器はそのままスタンションよりブラケットを固定するナットを緩め取り外す。フランジ取り付け型の場合は受圧部取り外しと同時に本体も外れている状態となるが、標準型と異なり受圧部が露出しているため、損傷を受けないようにその場で板片などを用いて保護をする。隔膜置換器型も同様に受圧部の保護を行うが、キャピラリ部に極端な折れ曲りや無理な力が加わらないように十分に注意をして取り外す。

2.2.4　分解・点検・組立

(1) 電気式圧力発信器

①　受圧部の点検

フランジ取付型や、隔膜置換器型の場合は受圧部が露出しており、この状態で目視により損傷、変　形、腐食などがないか点検を行う。付着物がある場合は取り除いてから点検するが、ドライバなどの　固い物でかき落とすことは避け、できるだけウエスやブラシなどを用い慎重に取り除く。標準型の場　合はカバー・フランジのボルト・ナットを緩め取り外した後、受圧部の点検を行うが、機器の取扱説　明書をよく参照しその手順に従って行う。点検後の組立はやはり手順に従って行うが、締付けトルクなどに注意し、ガスケットを新しい物に交換後組み立てる。

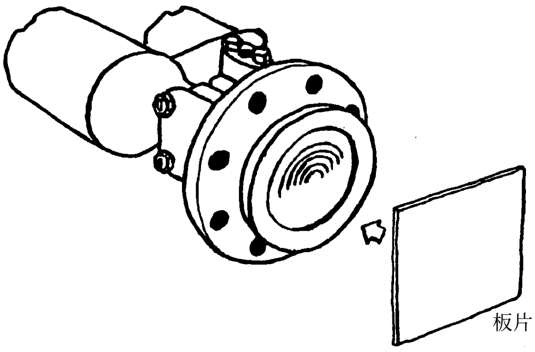


図 2.2.6　発信器受圧部（フランジ取付型）の保護

②　発信部電気部品の点検

目視により、部品および基板の発錆、変形、変色などがないかを点検する。この際必要に応じ発信部よりアンプ・ユニット、または基板を取り外して点検するが、コネクタ部は、静電気によるデバイスの破壊や汚れの付着による組み立て時の接触不良を避けるため、なるべく直接触らないように注意をする。目視点検が終了したらコネクタ部を揮発油で清掃した後、元通りに組み立てる。

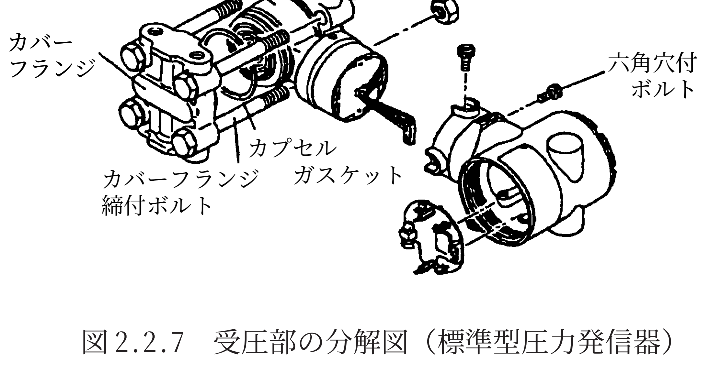


図 2.2.7　受圧部の分解図（標準型圧力発信器）

（2） 空気式圧力発信器

① 受圧部の点検

フランジ取付型や、隔膜置換器型の場合は前述の電気式圧力発信器と同様の点検を行う。標準型の場合も電気式とほぼ同様であるが、受圧部と発信部は力棒でつながっており、機種にもよるが一体型であるか、またはダイアフラム・カプセル（二重ダイアフラム）が外れるタイプがある。ダイアフラム・カプセルを外す場合、力棒との接続部分では、無理な力を加えて変形などさせないよう十分に注意する。

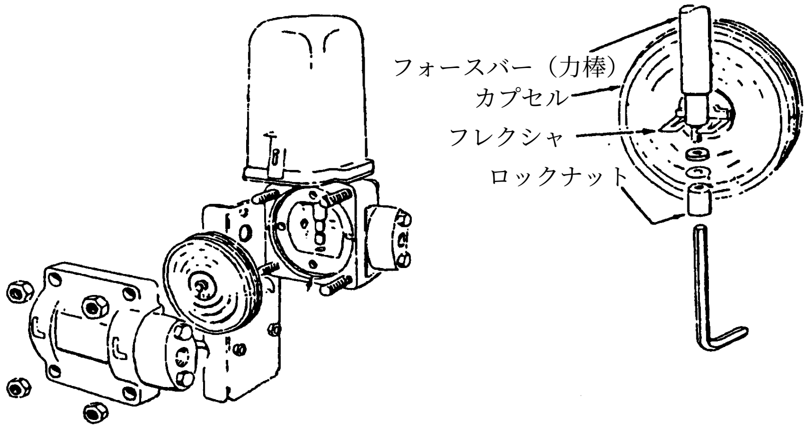


図2.2.8 受圧部の分解図（ダイアフラム・カプセル取り外し）

② 発信部の分解点検

1）ノズル機構の清掃

ノズル・フラッパにごみやほこりがたまると、ゼロ点ドリフトの原因となるため分解清掃が必要となる。ノズルのロック・ナットを緩め、同時にノズル配管をパイロット台から抜き出し取り外す。ノズル穴径に合ったピアノ線を用意し、ノズル穴の先端より線を通して清掃を行う、またフラッパ表面の清掃も行うが、それぞれ傷をつけたり変形させないよう十分に注意する。清掃が終了したらパイロット台に接続する部分のOリングにシリコン・グリースを塗り元通りに組み立てる。この際Oリングの亀裂、硬化など劣化状態を確認し、必要に応じ交換する。

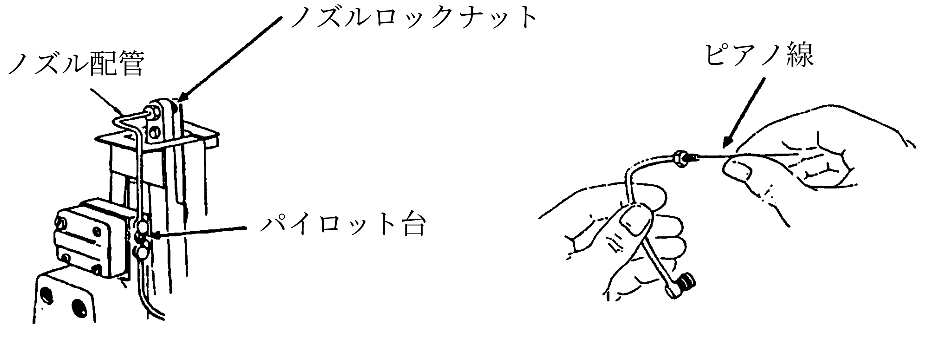


図2.2.9 ノズル機構の清掃

2）パイロット・リレー・絞りの清掃

パイロット・リレーをパイロット台から取り外し、カバー取付ネジ2本とバネ固定ネジを緩め分解する。カバーを外すとダイアフラムおよびステム、また板バネを外すと供給弁部分のボールが外れるので、個々の部品を揮発油で洗浄し乾燥させる。乾燥後はカバーとリレー台のガスケットにシリコン・グリースを塗り組み立てるが、ガスケットが硬化または亀裂が発生している場合は交換を行う。なお板バネを外した時点で動作点が変化してしまうため、専用の調整器などを用いて調整を行うのが望ま

しいが､実際には調整ネジを回さないかぎり分解組立後もほとんど特性変化は見られないようである。ただし動作点調整ネジが固定ネジを兼ねているタイプでは、調整器を使用するか、分解前に調整ネジの位置を確認しておく必要がある。絞りはリレー台に取り付いており、前述のノズルと同様に清掃を行う。絞りの位置は機種により異なるが、パイロット・リレーの下に取り付いているものもある。またOリングにはシリコン・グリースを塗り、劣化状態の確認も忘れずに行う。図2.2.10にパイロット・リレーの構造およびパイロット・リレー調整器の外観を示す。

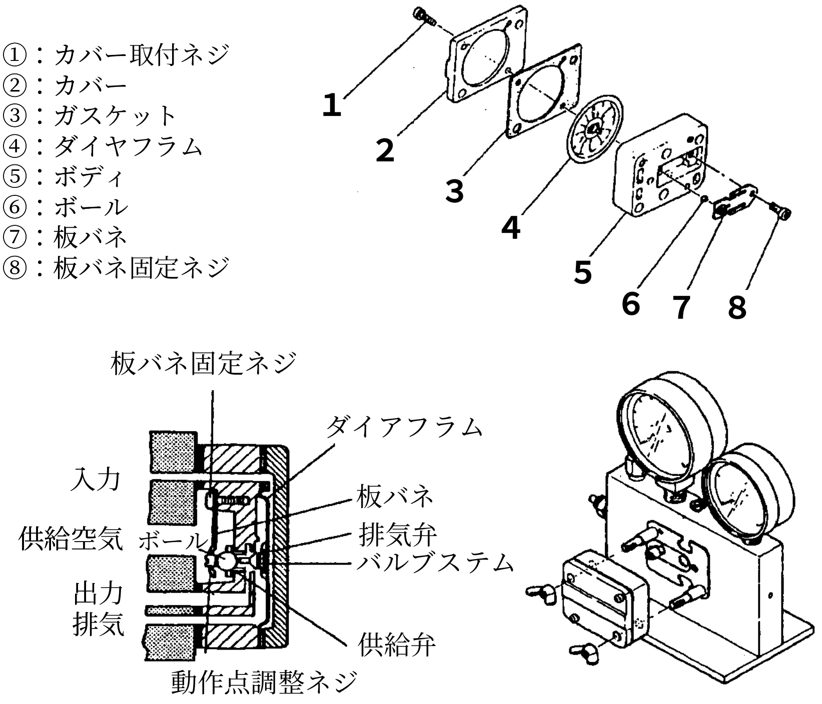


図2.2.10　パイロットリレーの構造・パイロット・リレー調整器の外観

（3）現場型圧力指示発信器（空気式）

現場型圧力指示発信器の場合、機器前面の扉（カバー）を開けると受圧エレメント、指示機構、発信機構が確認できる。まず目視による点検を行うがリンク機構などは変形しやすいため、十分に注意をしなければならない。目視点検項目としては、受圧エレメントの変形、測定流体の漏洩の有無、またリンク機構の変形、がたつきなどを点検する。なお、発信機構については前述の空気式圧力発信器と同様にパイロット・リレー、絞りなどの分解点検を行う。

2.2.5　修理・交換

分解・点検で異常や劣化が発見された場合、状況により修理または部品の交換を行う。

（1）電気式圧力発信器

交換部品として大別すると受圧部カプセル・アセンブリと伝送部アンプ・ユニット（基板）に分けられる。交換の際は機器の取り扱い説明書をよく参照し、部品や機器本体を破損させないよう十分に注意して行う。本質安全防爆構造の発信器では、アンプ・ユニット（基板）の部品単位での交換修理はできない。必ずアセンブリ単位で交換すること。

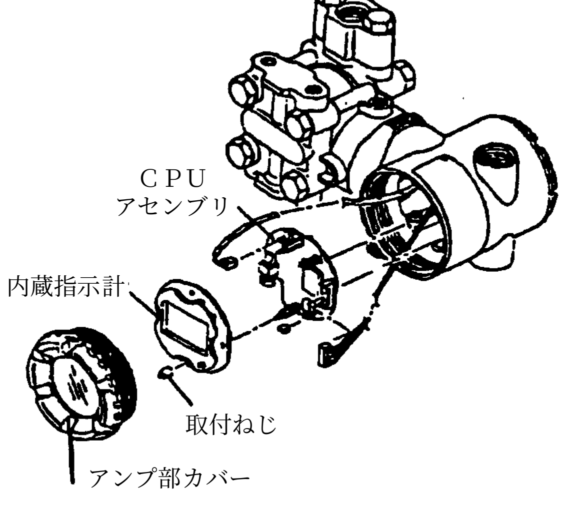


図2.2.11　電気式圧力発信器アンプ・ユニット取外し

（2）空気式圧力発信器

交換部品としては、受圧部カプセル・アセンブリと伝送部の部品がある。発信部については、2.2.4 分解・点検・組立で述べたパイロット・リレー、絞りなどがあるが、比較的交換頻度が多いのが○リングである。機器の使用条件にもよるが定期的に交換することが望ましい。

（3）現場型圧力指示発信器

交換部品としては、受圧エレメント、および空気式圧力発信器と同様に発信部の部品がある。受圧エレメントを交換する際はゼロ・スパン調整以外にリンク機構の調整が必要となるため、機器の取扱説明書をよく参照し手順に従って行う。

2.2.6 校正・調整

取り外した機器は、取り外し以前の使用状態たおける特性を確認しておく必要があり、通常は分解・点検を実施する前に特性検査を行う。校正・調整作業は、分解・点検・組立後に行うこととなる。

（1） 準備

対象となる機器の仕様に合った測定器、器具を準備する。

① 発信器固定スタンション

基本的にはフィールドに設置されているものと同じだが、床に固定されておらず移動可能なものを準備する。（フランジ取付型は不要）

② 加圧用フランジ

フランジ取付型、および隔膜置換器型の場合に必要となる。フランジ取り付け型でダイアフラム突出のタイアでは、合フランジに100A（4B）のパイプを溶接したものを事前に製作しておく。

③ デジタル・マノメータ

対象機器の圧力（差圧）レンジに対応できるものを準備する。（測定圧力範囲、分解能、精度、ゲージ圧か絶対圧かなどを考慮し選定する）なお空気式の場合は、発信出力測定用に20～100kPaが測定可能なものも準備する。

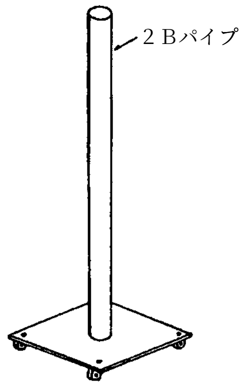


図2.2.12 発信器固定スタンション

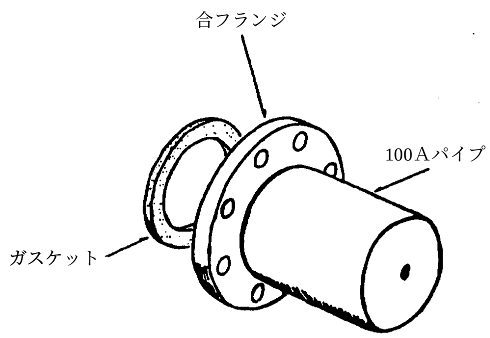


図2.2.13 加圧用フランジ（ダイアフラム突出タイプ）

④ 加圧器・加圧装置

測定圧力および測定条件に適応した加圧器・加圧装置を準備する。圧力範囲により次に示すような機器がある。

1） ハンドル式加圧ポンプ　　加圧範囲：約0～130kPa

低圧・微圧領域の加圧用に用いる。また－50kPa程度の負圧領域にも対応できる。

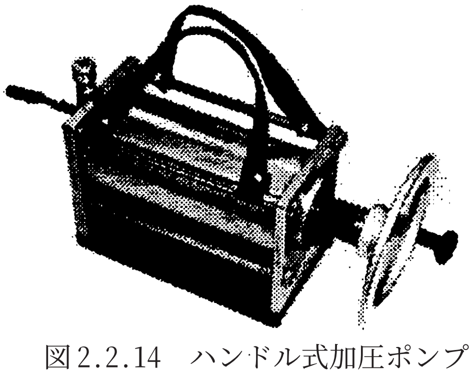


図2.2.14 ハンドル式加圧ポンプ

2） ハンド加圧ポンプ　　　加圧範囲：約０～2MPa

機種により加圧範囲が異なるが、小型のもので1MPaほどは加圧できる。

3） エア・セット　　　　　加圧範囲：約０～0.7MPa

計装用圧空を圧力源とし、減圧弁、エア・チューブ、継手、バルブの組合せにて加圧する。精密級減圧弁を使用すると圧力設定がしやすい。

4）ガス・ボンベ・セット(N_2)　加圧範囲：約０～15MPa

ガス・ボンベを圧力源とし、高圧用減圧弁、高ホース、高圧継手、バルブの組合せにて加圧する。

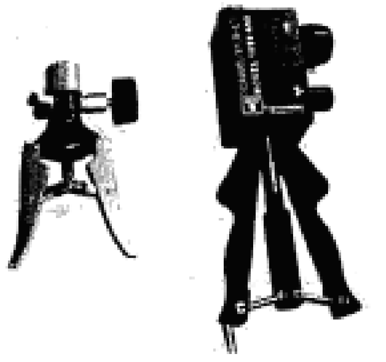


図2.2.15　ハンド油圧ポンプ

5）重錘型圧力計（卓上型）　　加圧範囲：０～50MPa

油圧による加圧装置で一般的に中・高圧領域の圧力校正に用いる。据置型では、最大700MPaの測定レンジのものもある。禁油の機器に対しては、タンク・サイホンで油圧を水圧に置換する方法と、別に水用重錘型圧力計がある。

(垂錘型圧力計は測定器となり、デジタル・マノメータは不要〉

⑤　デジタル・マルチ・メータ（電気式発信器）

電気式圧力発信器の発信出力測定に用い、DC ４～20mAが測定可能なものを準備する。（発信器の出力精度および分解能を考慮し選定する）

⑥　その他付帯機材

機器の形状、仕様に適合した継手、銅管、エア・チューブ、高圧ホースなど、また電気式圧力発信器の場合は、DC電源装置（ディストリビュータ）、接続用電線類を準備する。

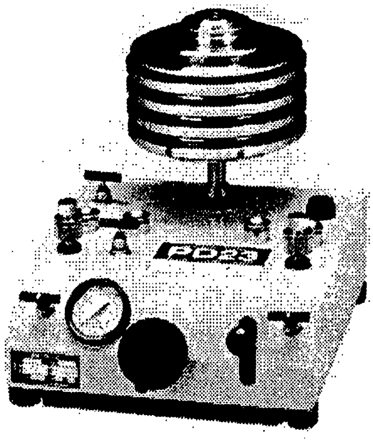


図2.2.16　重錘型圧力計

（２） 校正・調整

①　電気式圧力発信器

1）接続

準備した機材を使用し、下図のように接続する。なお対象機器および測定器の安定のため、電源投入後５分以上ウォーミングアップを行う。また差圧の場合は、高圧側に入力を接続し低圧側は大気開放にする。

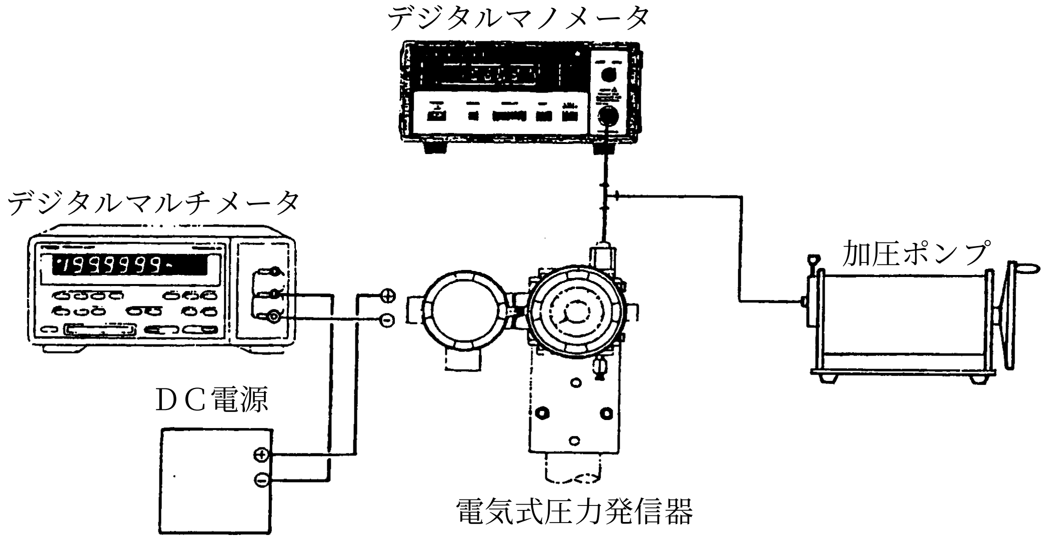


図2.2.17　電気式圧力発信器校正・調整接続図

2）校正・調整

接続およびウォーミングアップ完了後、校正作業に着手する。発信器の圧力レンジの範囲で最低と最高値を含む均等５点以上の圧力を入力し、（例：０，25，50，75，100%〉デジタル・マルチ・メータで出力値を読み取り検査成績書に記入する。なお出力値が機器のメーカ精度を外れる場合は調整を行う。０％の入力において出力値が０％（４mA〉になるようにゼロ調整ボリュウムを、また100%の入力において出力値が・100%20mA）になるようにスパン調整ポリュウムを調整する。ゼロおよびスパン調整は相互に干渉する場合があるので、精度内になるまで交互に繰り返し行う。調整後は再度各点のデータを取り、検査成績書に記入する。

② 空気式圧力発信器

1）接続

準備した機材を使用し、下図のように接続する。なお測定器安定のため、電源投入後５分以上ウォーミングアップを行う。また差圧の場合は、高圧側に入力を接続し低圧側は大気開放にする。

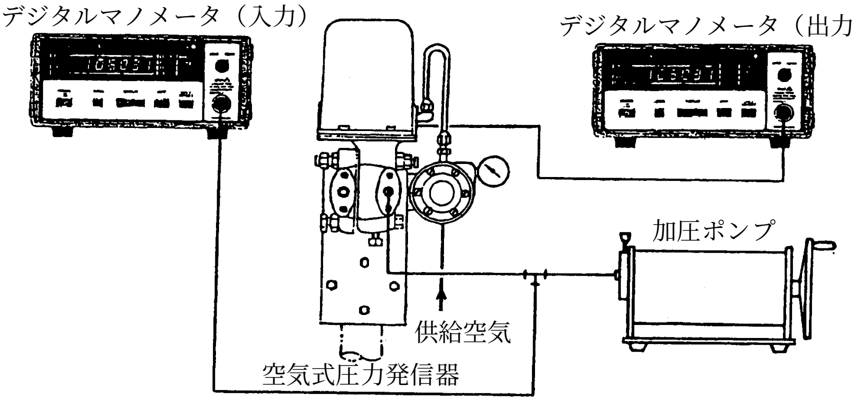


図 2.2.18　電気式圧力発信器校正・調整接続図

2）校正・調整

接続およびウォーミングアップ完了後、校正作業に着手する。発信器の圧力レンジの範囲で最低と最高値を含む均等５点以上の圧力を入力し、（例：０，25，50，75，100%）デジタル・マノメータで出力値を読み取り検査成績書に記入する。なお出力値が機器のメーカ精度を外れる場合は調整を行う。調整については2.2.1項に記載した空気式差圧発信器の動作原理図に示すゼロ調整ねじにて０％入力における出力値が０％（20kPa）になるように調整、またレンジ・ホイールにて100%入力における出力値が100%（100kPa）になるように調整する。ゼロおよびスパン調整は相互に干渉するため、精度内になるまで交互に繰り返し行う。調整後は再度各点のデータを取り、検査成績書に記入する。

③ 現場型圧力指示発信器（空気式）

1）接続

準備した機材を使用し、下図のように接続する。なお測定器安定のため、電源投入後５分以上ウォーミングアップを行う。

2）校正・調整

接続およびウォーミングアップ完了後、校正作業に着手する。発信器の圧力レンジの範囲で最低と最高値を含む均等５点以上の圧力を入力し、（例：０，25，50，75，100%）圧力指示値およびデジタル・マノメータで出力値を読み取り検査成績書に記入する。なお指示値、または出力値が機器のメーカ精度を外れる場合は調整を行う。調整はまず指示部から行い、次に発信部の順で行う。こ

の逆の順で調整すると、指示と発信出力の特性が合わなくなるため注意すること。図2.2.20に調整箇所の説明図を示す。またそれぞれのゼロおよびスパン調整は相互に干渉するため、精度内になるまで交互に繰り返し行う。調整後は再度それぞれの各点のデータを取り、検査成績書に記入する。

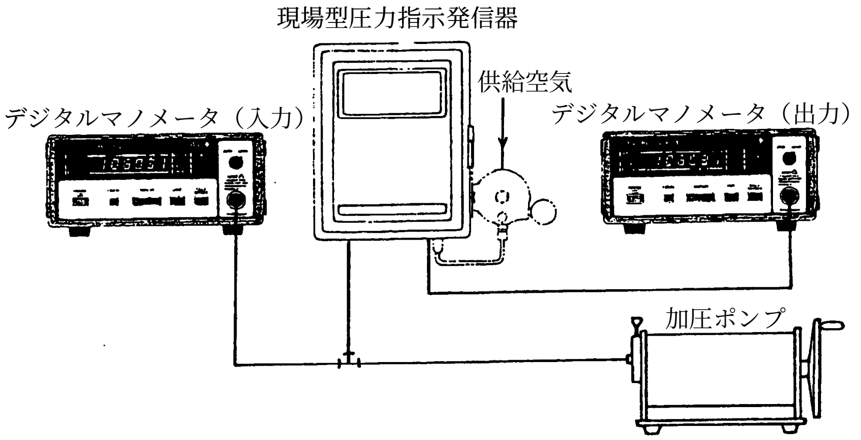


図2.2.19　現場型圧力指示発信器校正・調整接続図

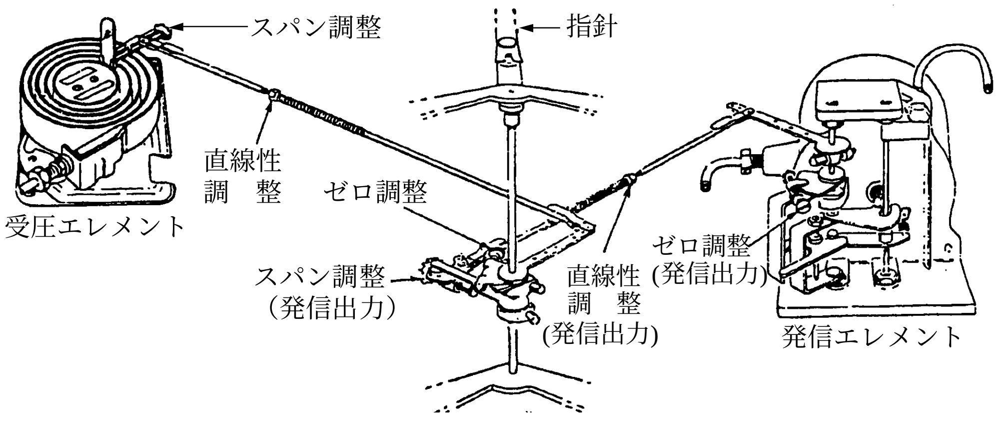


図2.2.20　現場型圧力指示発信器調整箇所の説明図

④　インテリジェント型圧力発信器（電気式〉

使用機器や接続方法などは、基本的に電気式圧力発信器と同様であるが、校正・調整については、一般にターミナルまたはコミュニケータと呼ばれる機器を使用する。電気式圧力発信器で調整をする場合、基板上のボリュームで行うが、インテリジェント型では通信にて外部よりパラメータを入力して調整する。機能としては、ゼロ・スパン調整やダンピング設定の他にレンジ変更、自己珍断モニタ、定電流発信、機器へのTag登録など多種におよぶ。接続は発信器の端子に通信ケーブルをクリップする。状況よっては受信端からの操作も可能である。

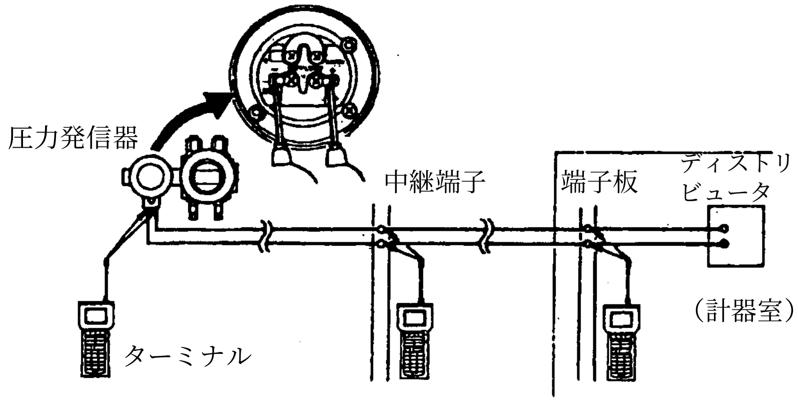


図2.2.21　ターミナルの接続方法

2.2.7　取付け

（1）　機器の取り付け

取付対象機器が間違いないか機器およびフィールドに取り付けた識別札を確認し、その後取外しの際に養生したビニール・シートなどをすべて取り除く、フランジ取付型や隔膜置換器型の場合は、プロセス側のフランジ面を十分に清掃し、また異物が混入していないことを確認した後、ガスケット類を新品に交換して受圧部フランジを取り付ける。ボルト・ナットの締付けは、片締めにならないよう対角線に、また均等に締め付ける。

（2）　配線・配管復旧

本体取り付け後、配管・配線類を復旧する。電気式圧力発信器の場合は、念のために電源が供給されていないことをテスタにて確認後、配線を復旧する。

なお取り外し時の記録に基づき配線復旧後ワイヤ・マークの確認を必ず行うこと。確認後は端子箱の蓋を工具を使用し確実に閉める。

2.2.8　リストレーション

（1）　供給電源・供給空気復旧

配線・配管の復旧が完了した後、供給源を投入する。この際、投入禁止または開禁止札を確実に取り外すこと。供給源復旧後はアイソレーション時と同様に機器の状態を見て、復旧が間違いが無いか確認する。なお空気式発信器の場合は、配管接続部のエア洩れをリーク・チェック液を用いて確認すること。

（2）　プロセス圧力の導圧復旧

プロセス圧力取出部のバルブを開にし、開票止札を取り外す。圧力が発生している状態であれば、発信器受圧部のエア抜きを行うが、取外し時と同様に流体の飛散に注意し、必要な養生を行うこと。復旧後は機器の動作状態が正常であるかを確認する。（受信計器や機器自体の指示を確認）すべて完了した後、識別札を取り外し、必要に応じ検査ラベルを貼り、校正実施日を明示しておく。

2.3　差圧流量計

2.3.1　点検整備の注意事項

点検・整備をする場合の一般的な注意事項を次にあげる。

① 差圧発信器の導圧配管を外して点検を行うとき、測定液が（腐食性・毒性の場合は特に）作業者および差圧発信器にかからないよう養生する。

② 模擬入力を加えて校正する場合は、差圧発信器の導圧配管や本体フランジ内にたまっているドレンやガスなどを十分抜いてから行う。不十分であるとゼロ点付近の出力値に誤差を生じるので注意する。

③ 校正用のマノメータを使用する場合は､校正管理されトレーサビリティが可能なものを使用する。

④ 危険場所に設置された本質安全防爆形差圧発信器を現場で点検する場合は、通電中は不可能なので通電を停止してから行う。

⑤ トランシーバや携帯電話を電子式差圧発信器およびその配線の近くで使用する場合は、アンテナを発信器およびその配線から少なくとも１m以上離して使用する。

2.3.2　日常点検

適切な間隔を置いて、一般的に次の点検を行う。

① 導圧配管部および受圧部本体、本体フランジ、ベント・プラグ、ドレン・プラグ、均圧弁など導圧配管接続個所はすべて洩れのないこと。
配管の洩れは加圧状態で点検する。

② 導圧配管にたまるドレンやガスなどは定期的に抜く。ただし、高温蒸気の場合は差圧発信器への導圧管部分はブローダウンしないこと。ブローダウンによる温度上昇によって差圧発信器が故障する場合がある。また、稼動中の均圧弁は開けないこと、高圧側のドレンが低圧側の等圧管を経て蒸気本管に流れ込み、高圧側にドレンが溜まるまで出力誤差を起こす。
　また、一瞬でシール液がなくなり温度上昇によって差圧発信器が故障する場合がある。

③ 電子式差圧発信器の増幅器および端子箱のカバーねじが締め付けてあること。

④ 空気式差圧発信器への供給空気に､塵挨､油､水分などを含んでいないか供給空気源の減圧弁フィルタなどを点検する。

⑤ 空気式差圧発信器における空気配管の洩れは性能に大きな影響を与えるので、空気配管接続部分に洩れがないことを確認する。

2.3.3　定期点検

（1）オリフィス

　最も汎用的に使用されているのが、同心エッジ・オリフィスであり、通常オリフィスといえば、同心エッジ・オリフィスを指す場合が多い。

　オリフィスには流れ方向があり、エッジのある側が上流側である。オリフイス・プレートに柄が設けられる場合、通常は柄の上流側に銘板を設置する。したがって、管路に挿入後でも流れ方向の確認ができる。四分円オリフィスでは、四分円のRが付いている側が上流側である。

① 取外し
管路内の測定流体が空および減圧されていることを確認する。
腐食性・毒性の場合は残留物に対して養生する。
プレート表面に傷および曲げを生じないように外す。
傷、曲げは誤差増大の要因となる。

② 清掃
ウエス、ペーパーなどでプレート表面、絞り径、ドレン、ガスホールを傷つけないように清掃する、たがね、やすりなどは用いないこと。

③　点検
プレートの設計値に基づき寸法を測定する。
プレートの厚さ、エッジの厚さ／傾斜角、絞り径、ドレン、ガスホール径など。

④　取付け
プレートの流れ方向を確認後設置する。
設置はプレートの絞り径と管路が同心円になること。
図2.3.11を参照のこと

⑤　ガスケット
ガスケットは測定流体に適したものを選択し、新品を使用すること。

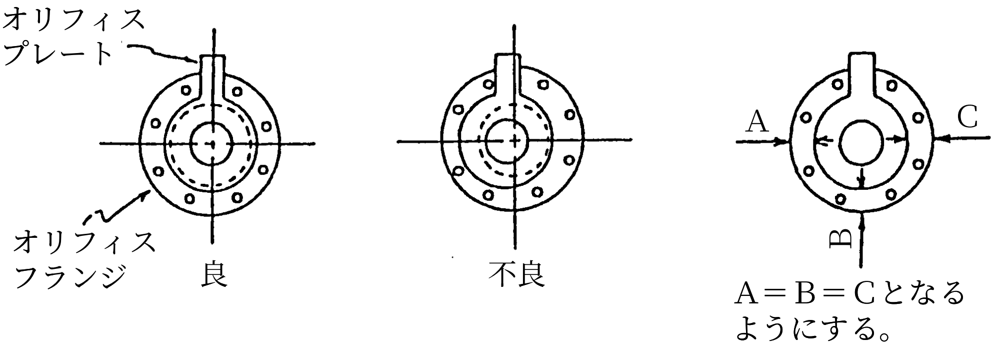


図2.3.1　オリフィス・プレートの取付け

（2）導圧配管

①　差圧発信器への導圧配管からの洩れの発生は事故例の内で多くを占める。
差圧発信器への接続継手にフレアを使う場合は、定期点検ごとにゆるめたり締め付けたりするため、フレアが摩滅している例を多く見受けるので注意する。

②　フレアレス継手（バイロック継手）のナットを締め付けるとき、配管および継手にねじれが発生すると洩れの原因となるため、継手本体をしかり押えナットを締め付けること。

③　ねじ部へのシール・テープ処理
点検調整などでチューブを差圧伝送器などから一時取り外して再度締め付けるときには、取り外した継手のねじ部に巻きついたシール・テープのくずをピンセットなどで完全に取り除く。
その後新しいシール・テープを用いて巻き直す。
図2.3.2を参照のこと

（3）　電子式差圧発信器

①　外観構造上の席食、発錆、変形および傷のないこと。

②　ガスケット、Oリング類に傷および劣化のないこと。
Oリングが固くなって弾性を失っていないかを点検し、傷があったり弾性がなくなっている場合は新品と交換する。
酸素系統など禁油ラインではフッ素樹脂系Oリングを使用すること。

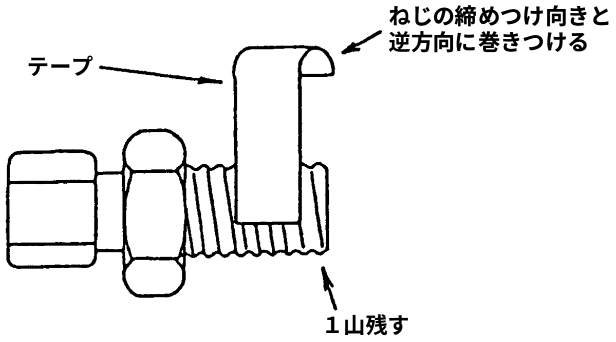


図2.3.2　シール・テープの巻き付け

交換品のOリングは差圧発信器の性能を維持するため、原則として製造者の供給品を使用すること。
再組立ての前にはOリングにワセリン系の油、またはシリコン・グリスなどを薄く塗布する。ただし、禁油ラインには塗布しない。

③　ゼロ、ダンピング、およびスパン調整が可変抵抗の場合可変させて接触不良のないことを確認する。ただし、点検後は再調整が必要である。

④　電子部品に発錆のないこと。
コネクタ・ピンが正常であること。
接地線が正しくケースに接続されていること。

⑤　配線およびプリント基板のハンダ付部に亀裂などがないこと。

⑥　受圧部の点検清掃
本体フランジ締付ボルトの異常有無を確認する。
受圧部本体および本体フランジ・ガスケット面に腐食のないことを確認する。
沈殿物の点検と洗浄を行う、ただし、受圧部本体を取り扱う時は傷をつけたり変形させたりしないよう十分注意する。

⑦　防爆形にたいする点検
本質安全防爆形の差圧発信器は回路定数、配線方法、構造、回路電流、電圧などが検定済みのため部品レベルでの交換はできない。
修理する場合は、プリント基板単位のアセンブリとして交換する。
防爆形の現場における保守は原則として通電中には行わないこと。
錠締構造ボルトを使用した個所は、耐圧防爆性能上重要な部分なので、ゆるみのないこと。
ケース、カバー、窓ガラス部、受圧部などの接合面は耐圧防爆性能上重要な部分である。この接合面の腐食、変形および傷は耐圧防爆性能を損なう恐れがある。
これらが認められるものは使用しないこと。
接合面に防錆のため、うすく油を塗布することは行っても、塗装はしないこと。
錠締構造のボルトを交換する場合は、材質も含めて同じ物にし、寸法、材質の違う物は使用しないこと。
錠締構造のボルトにはスプリング・ワッシャを必ず併用すること。
防爆構造品の窓ガラスを破損した場合は製造者に修理依頼する必要がある。

⑧　リモート・シール・ダイアフラム型の取扱い上の注意
受圧部本体とフランジ構造部間をつなぐキャピラリ・チューブ内には、封入液が満たされているので、その継手およびボルト類などは絶対にゆるめてはならない。封入液を流出させた場合は、製造者に修理依頼する必要がある。
差圧発信器を取り外し運搬する場合、その長いキャピラリ・チューブをできるだけ大きな円形状にまるめておき、キャピラリ・チューブの根元にねじり力が加わらないように注意する。
キャピラリ・チューブを持って、機器を持ち上げたり運搬したりしないこと。

（4）空気式差圧発信器

①　空気式差圧発信器は電子式差圧発信器とくらべて伝送機構部において、異なるが、その受圧体部については大差ない。したがって、本体フランジ、プロセス・コネクタ、ドレン／ベント・プラグなど各接続部分の点検には、電子式差圧発信器と同様の点検が必要である。

②　伝送部はノズル・フラッパ機構、パイロット・リレーおよびフィードバック機構から構成されている。故障の主な原因は、空気源のよごれによるノズルのつまり、パイロット・リレーのダイアフラムの劣化、伝送チューブの腐食による空気洩れなどがある。

③　ノズル・フラッパの清掃
伝送部のカバーを取り外して、清浄な圧縮空気とクロロセンのような溶剤で洗浄する。この作業がやりにくい場合は、ノズルを取り外して行う。フラッパ面も清潔な布で溶剤を用いてきれいにふきとる。このとき、ノズルの先端部、フラッパ面に傷をつけないように注意する。

④　パイロット・リレーの分解および清掃
パイロット・リレーは、多くの部品から構成されているので、製造者の分解図を参照しながら、部

品の組み付けられている順序と部品の取付方向がわかるようにしてから取りかかる。手順として、パイロット・リレーの側面に合マークを付けて部品の取付位置がわかるようにする。上から順番に分解していきながら、各部品のよごれ、傷、腐食の有無を調べる。分解した各部品はクロロセンなどで洗浄し、乾燥させる。

組立てに際し、変形、片締めにならないよう注意する。Oリング、ガスケット類は原則として、圧力が加わるところは新品と交換した方がよい。交換の際ワセリン系の油、またはシリコン・グリスを薄く塗布する。

2.3.4　校正・調整

計器試験室での注意事項

① 計器試験室の標準的環境は、温度23℃湿度65%RHとされるが、校正試験判定に影響がないときは、常温15～35℃、常湿45～75%RHの範囲内で試験してもよい。

② 差圧発信器の供給電源電圧または供給空気源圧力が、仕様条件と一致していること。

③ 差圧発信器の調整取付姿勢は製造者の推奨する範囲内であること。

④ 標準計器の精度は一般的には測定される差圧発信器の精度の４倍以上が適当とされる。ただし計器精度との関係もあるので製造者の推奨する計測器を使用してよい。
なお、測定器は校正管理されトレーサビリティが確立されていること。

⑤ 空気式差圧発信器の試験を開始するときは、０～100%の入力差圧を２～３回程度繰り返し加え、伝送機構部の動きをなめらかにしておくことが大切である。

⑥ 空気式差圧発信器は、その出力信号圧の空気配管において空気洩れが生じてはならない。空気洩れが生じていると、精度がたもてなくなる。

2.3.5　アイソレーション

① 点検対象計器が制御ループおよびインターロック回路より切り離されていることを確認する。

② 点検対象計器のタグ№、名称を確認し、電源または供給空気の遮断を行う。

③ 遮断した電源または供給空気には投入禁止の札等を付ける。

④ 取付現場で再度電源または供給空気が遮断されていることをテスタまたは現場ゲージにて確認する。

⑤ バルブの停止操作

１）均圧弁は差圧発信器において、高圧側と低圧側とを同一の圧力にする均圧弁と導圧管のストップ・バルブの役割をしているのが均圧弁である。
構造は図2.3.3のようなもので、一体型と分離型がある。
バルブA、A′はプロセス・ラインとのストップ弁として、またバルブBは高圧側と低圧側との均圧弁としての役割をしている。

２）停止操作手順

- 低圧側のストップ弁Aを閉じる。
- 均圧弁Bを開ける。
- 高圧側ストップ弁A′を閉じる。
- 高圧側と低圧側の元弁を閉じる。
- 圧力を抜くときは、ドレンまたはガスが作業者にかからないよう養生して行うこと。有毒物質の場合は、適切な保護具を使用すること。

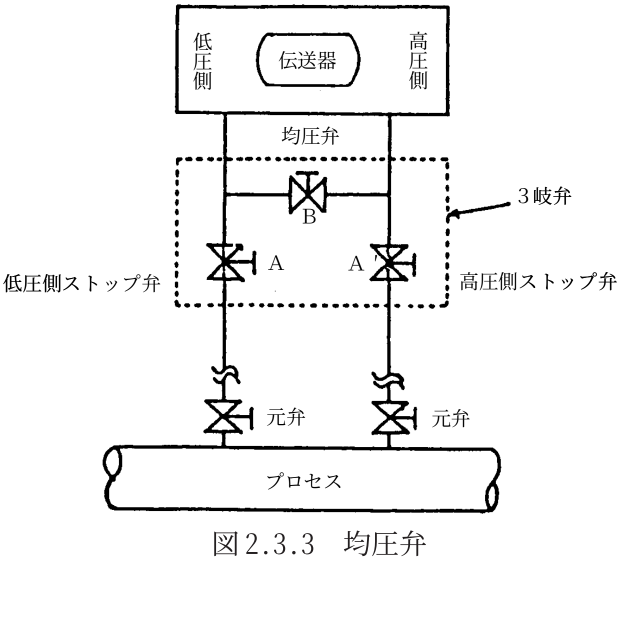


図2.3.3　均圧弁

2.3.6　取外し

①　配線を発信器の端子台より外すときは、配線番号または色を記録し、外した配線はビニール・テープなどで養生する。

②　発信器より取り外したケーブルは、雨水などが混入しないようビニール袋などで養生する。

③　発信器の取外しは、導圧配管に無理な力が加わらないよう十分注意する。

④　導圧配管にゴミなどが混入しないようビニール袋などで養生する。

2.3.7　電子式差圧発信器の校正

この校正は計器校正室などで行うことが望ましいが、その際、現場の設置姿勢と同一にして行う必要がある。また、設置状態に合わせてゼロ点を調整している場合は、試験室での測定は差圧発信器の精度定格の確認にとどめ、調整は現場の設置状態で行う方がよい。

①　図2.3.4にしたがって配管および配線を行う。

②　高・低圧側とも大気開放にして電源を入れる。製造者が勧めるウォーミングアップ時間を待ってから調整を行う。

③　測定範囲を５点以上等分し、(例：０，25, 50, 75, 100%) 各入力に対する出力を測定する。

④　ゼロ点（０%入力）が基準値とずれている場合は、ゼロ調整を行う。

⑤　スパン（100%入力）が基準値とずれている場合は、スパン調整を行う。

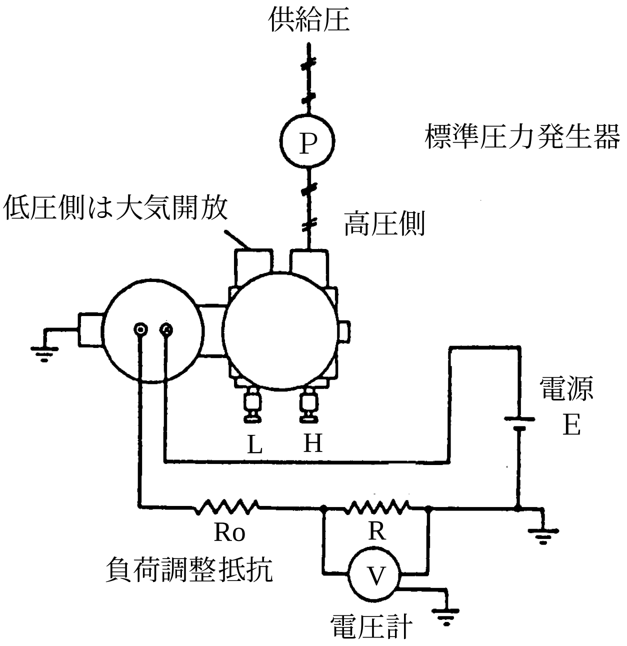


図2.3.4　校正用配線配管図

表2.3.1　測定器表

名　称	推奨する機器	備　考
電源（E）	24ＶＤＣ（±10%） 標準抵抗器（R）	４～20mADC信号用 250Ω±0.005%
負荷抵抗	負荷調整抵抗（R0） （必要に応じて入れる）	電源電圧に対応できる抵抗 許容範囲に注意する
電圧計（V）	デジタル・ボルトメータ	有効数字５桁以上読み取り 可能なものを選定する
標準圧力 発生器（P）	各種マノメータ、エア・ピストンゲージ、デジタル・マノメータ	発信器の測定レンジに近いものを、精度は±0.1%以下のものを選定する

2.3.8　空気式差圧発信器の校正

この校正は計器校正室などで行うことが望ましいが、その際、現場の設置姿勢と同一にして行う必要がある。また、設置状態に合わせてゼロ点を調整している場合は、試験室での測定は差圧発信器の精度定格の確認にとどめ、調整は現場の設置状態で行う方がよい。

空気式差圧発信器で最も重要なことは供給空気を清浄に保つことである。そのためには、アフタ・クーラ、フィルタ、エア・ドライヤなどにより、水分、油その他の汚れを取り除く必要がある。供給空気が汚れている場合は、差圧発信器のノズル、および絞り機構などのつまりによる故障が発生しやすいので十分な管理が必要である。空気式差圧発信器は各製造者による特殊な機構に依存しているので、調整の詳細については、その差圧発信器の取扱説明書をよく読むことが大切である。

①　図2.3.5を参照し校正装置をセットする。

②　差圧発信器の動作に必要な供給空気圧に調整する。

③　試験を開始する前に、0～100%の入力差圧を2～3回程度繰り返し、加伝送機構部の動きをなめらかにしておく。

④　測定範囲を5点以上等分し（例0，25，50，75，100%）、各入力に対する出力を測定する。

⑤　ゼロ点（0%入力）が基準値とずれている場合は、ゼロ調整を行う。

⑥　スパン（100%入力）が基準値とずれている場合は、スパン調整を行う。

調整毎にロックナット・ビスはしっかり締めること。

⑦　手順⑤⑥を繰り返して所定の精度定格が得られるように調整する。

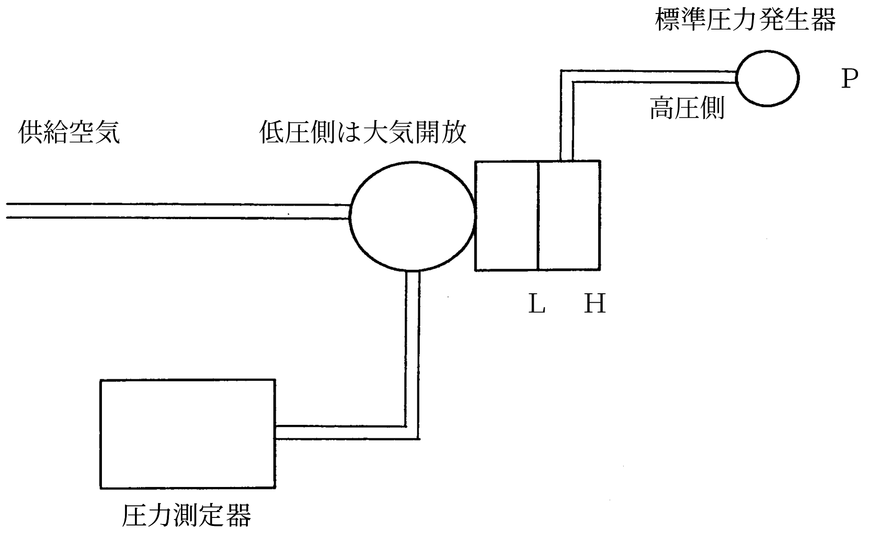


図2.3.5　校正用配管図

表2.3.2　測定機器表

名　称	推奨する機器	備　考
標準圧力発生器（P）	各種マノメータ、デジタル・マノメータ	発信器の測定レンジに近いものを、精度は±0.1%以下のものを選定する
圧力測定器	デジタル・マノメータ	精度は±0.1%以下のものを選定する

2.3.9　取付け

① 取付計器が、対象計器であることを確認する。

② 導圧配管に無理な力が、加わらないようまた、片締めにならないように均等に締め付ける。

③ プロセス本管の元弁および、均圧弁のストップ弁は「閉」、均圧弁は「開」の状態にしておく。

④ 配線の取付けは、電源が遮断されていることをテスタなどで確認後、取り付ける。配線の番号または色を、取外し時の記録をもとに確認する。

⑤ 配管および配線、特に空気式発信器のサプライと信号配管に取付ミスのないことを再確認後、電源または供給空気を投入する。

⑥ 投入禁止札および、開禁止札は、電源または供給空気を投入後確実に取り外す。

⑦ 電源または供給空気を投入後、発信器の状態に異常がないことを確認する。

⑧ 空気式発信器の空気配管接続部に、エア洩れのないことを確認する。

⑨ 必要な場合は、図2.3.6導圧配管の気密試験を実施する。

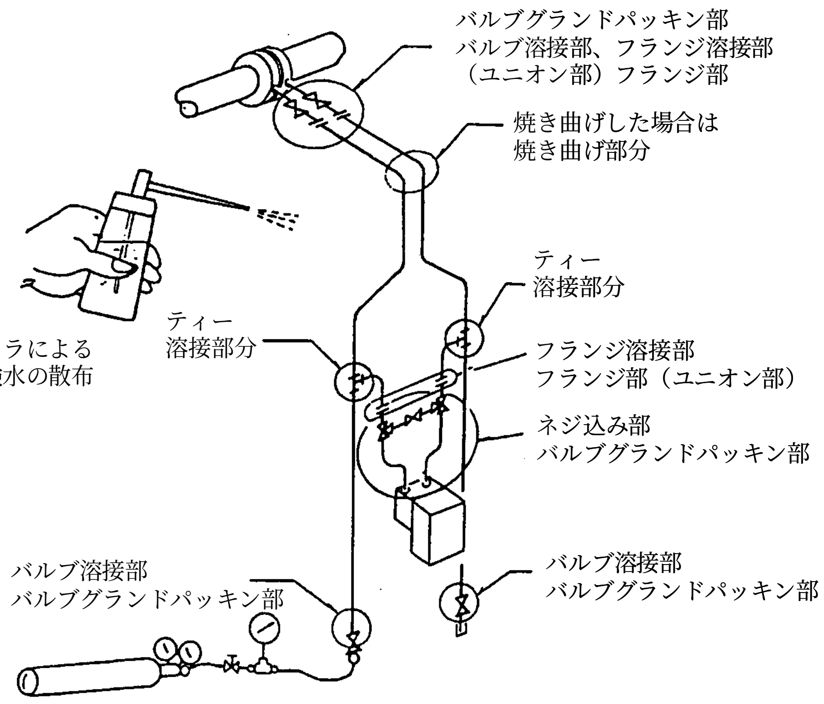


図2.3.6　導圧配管の気密試験

2.3.10　ヒート・トレース

プロセス流体の凝縮・凍結・凝固防止・高粘度対策を目的としてヒート・トレースを実施する。

① 凝縮防止

高圧で温度が下がると、凝縮するLPGベーパ等、凝縮しやすい気体の場合、加熱し気化させる必要がある。

② 凍結防止

冬期、水が凍結する場合に必要となるが加熱しすぎて、水が沸騰しないように注意する。

③ 凝固防止

凝固点以上の温度になるよう加熱し、かつ沸騰しないように注意する。

④ 高粘度対策

重油等高粘度の流体では、導圧配管に細い部分があると圧力の伝達が遅れることがあるので加熱し粘度をさげる。

⑤ 熱源の種類

1）スチーム

一般に、プラントでは必ずあり、飽和水蒸気が最も広く使用されている。

2）温水

他の熱源と比較すると温度が低い。

温水は循環使用され凍結の恐れがなく極寒地に多く使用されている。

3）電気ヒータ

スチーム・温水がない場合、高温または正確な温度制御が要求された場合に使用されている。

⑥　ヒート・トレースの点検に関する一般事項

1）銅管を使用したスチーム・トレースの場合は、保温材の内側で発錆し損傷していることがあるので、蒸気の漏れがないことを確認する。

2）電気ヒータは、耐電圧および絶縁抵抗試験を行い異常のないことを確認する。

3）電気ヒータ用電源の漏電ブレーカ（ELB）の動作確認を行うこと。

2.3.11　流体測定対象ごとの一般的な導圧配管

①　凝固しやすい液体

導圧配管内の静止流体が外気により温度降下し粘度が上がり凝固してしまう液体。

1）測定計器を取出しより下に設置する場合、導圧配管および測定器にプロセス流体を入れないようにするため、図2.3.7に示すようなプロセス流体より密度の大きいシール液をシール・ポットに封入する方法がある。

2）図2.3.8に示すようなプロセス流体より密度の小さいシール液をシール・ポットに封入する方法がある。

3）一般的な導圧配管をヒート・トレースにより加熱し粘度が上がるのを防止し測定する方法とがあるが、図2.3.9に示すようにダイアフラム・シール方式の差圧発信器を使用し等圧配管をなくす方法がある。

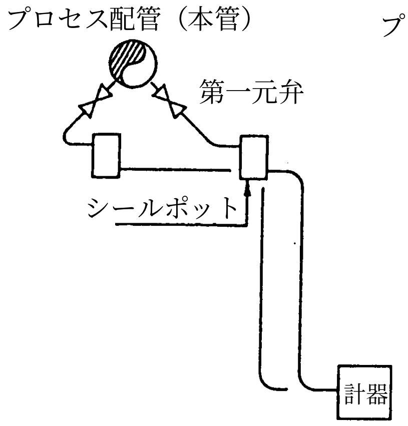


図2.3.7
プロセス流体より
シール液の密度が
大きい方式

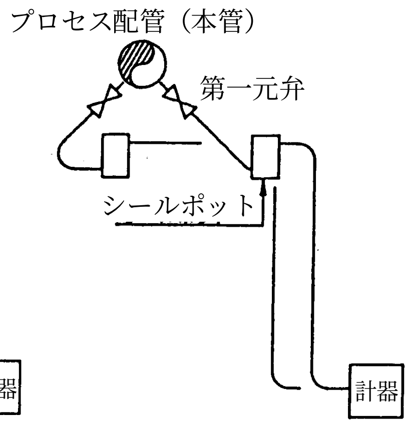


図2.3.8
プロセス流体より
シール液の密度が
小さい方式

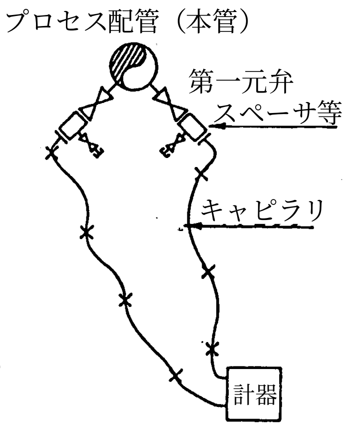


図2.3.9
ダイアフラム・
シール方式

②　２成分以上の混合流体

２成分以上の混合流体の場合は、密度差がでるのを防ぐため差圧発信器は少し上にあげるか、同一レベルにする図2.3.10の方法となる。

③　プロセス流体に固形物（スラリ状）が混入されている液体

1）ダイアフラム方式の差圧発信器を使用し、等圧配管をなくす方法がある。

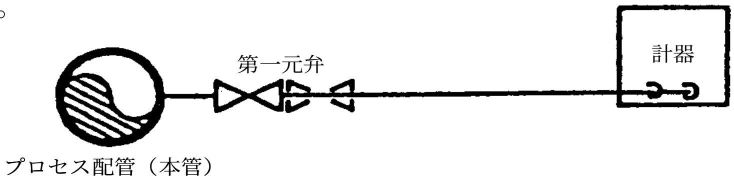


図2.3.10　取出しと差圧発信器が同一レベルの方法

2)プロセス流体が等圧配管に入らないように一定量の液体を放出し、その背圧の変化を測定する図2.3.11に示す液体パージ方式がある。

④　一般的な気体（乾きガス）

1)差圧発信器の設置位置は取り出しより上の図2.3.12のようにフリー・ドレン方式がある。

2）保守および施行上図2.3.13のように、差圧発信器を下に設置しても問題はない。

⑤　凝集しやすい気体（湿りガス）

1）温度が比較的低く差圧伝送器の使用温度を超えない場合、取出しより差圧発信器を上に設置する図2.3.12の方式がある。

この方式を採用する場合に考慮することは、勾配配管部分の距離を十分とり、流体が外気により冷却され凝集液がなめらかに本管に戻るような導圧配管を行う。

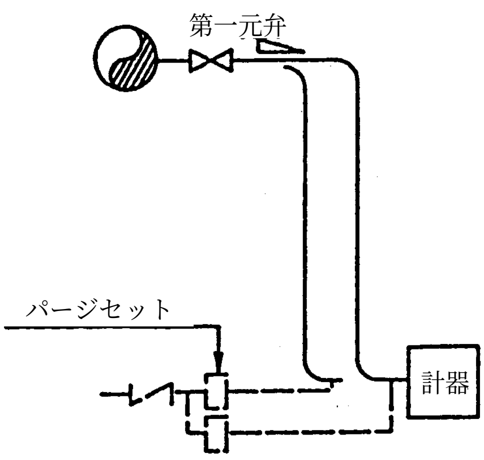


図2.3.11　液体パージ方式

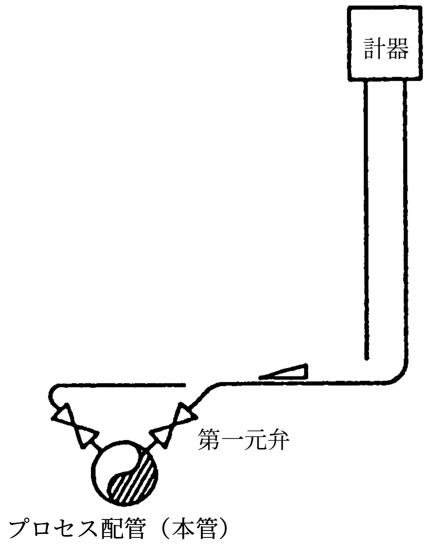


図2.3.12　上取出しで差圧発信器が上の方式

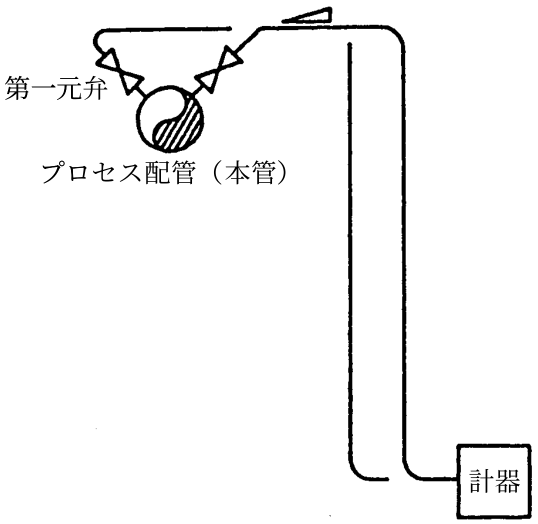


図2.3.13　上取出しで差圧発信器が下の方式

2）少量の凝集液が予想される場合は図2.3.14のように、ドレン・ポットに凝集液を溜め定期的にドレン切りを行う方法がある。

⑥　スチーム

積極杓に凝集液をコンデンサ・ポットまたはティーに溜め常に同一のレベルの液体として測定する、図2.3.15のウェット・レグ方式が一般に多く採用されている。

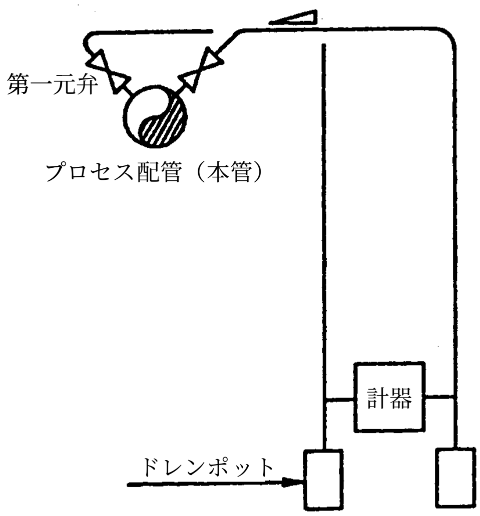


図2.3.14　ドレン・ポット方式

＊備　考

斜め上方に圧力取出しをした場合、下から上昇してくるペーパは圧力取出配管途中やコンデンサ・ポットまたはティーで凝縮して、管壁を伝って脈動があるような指示計の動き、あるいは差圧の誤差となることがある。

圧力取出元弁にグローブ・バルブをさけ、ゲート・バルブの類を用いる理由の一つである。配管形状も、こうした理由から曲がり部も液の落下がなめらかに行われるよう考慮すべきであり、多量に凝集液が生じる場合にはタップ形状、 サイズに十分な配慮が必要である。

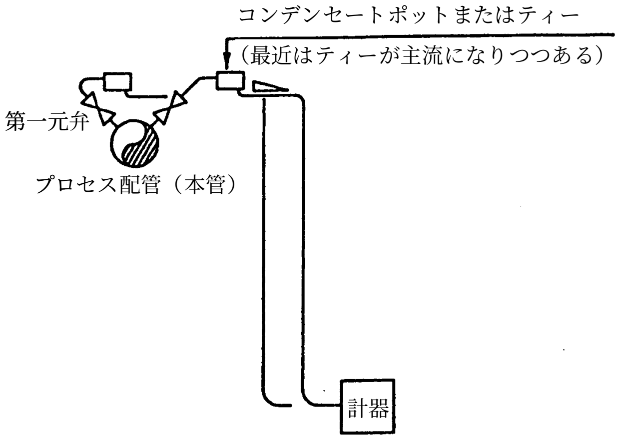


図 2.3.15　積極的に凝集液を溜める方式

2.3.12　シール液の役割

① シール・ポットにシール液を注入し、測定流体が直接差圧発信器と接しないようにする理由は、次の事項に集約できる。

1）腐食性流体を測定する場合に、差圧発信器の接液部が腐食するのを防止する。

2）高温流体または蒸気測定の場合に、高温流体が差圧発信器に直接導入されると、発信器の故障の原因または、誤差増大の要因になるので、これを防止する。

3）冬季または常温において凝固する恐れのある流体を測定する場合に、凝固による誤差除去と、差圧発信器を保護する。

② シール液の選択法

1）シール液と測定流体が混合しないこと。すなわち、液体測定においてはシール液の比重が測定液の比重よりも大であること。

2）腐食性のないシール液を使用すること。このために、フツ素系液体・エチレン・グリコール等がよく使われる。

3）寒冷地での使用ではシール液の凝固点も十分に考慮すること。

4）蒸気測定においては、蒸気の凝固を考慮して水（または不凍液）を用いる場合が多い。

③ シール液を注入する際の注意点

1）シール・ポットへの注入速度を遅くして内部にある空気が完全に抜け出るようにする。

2）シール・ポット、差圧発信器、それを結ぶ等圧管を軽く打振したり、ゆすぶるなど、適当な振動を与えることにより、空気とシール液との置換を促進する。

3）ドレン／ベントスクリュウをゆるめて、差圧発信器からも空気抜きを行う。

4）安価なシール液を使用する場合（たとえば、蒸気測定におけるシール液としての水の使用）には、ドレン抜き穴よりシール液を十分に放出することも一考である。この時、排出シール液が白濁しているときには、まだ気泡の混入があると考えるべきであり、十分放出後、シール液とドレン抜き穴からの放出液の色が同一になったときに初めて、完全に空気が抜けたものとすべきである。

5）シール液注入の際には、均圧弁の各々のバルブは全開にして、管路抵抗の減少をはかる。

2.3.13　ドレン抜き・ガス抜き

ストップ弁を開くと、測定流体は差圧発信器の測定室内まで流入してくる。このとき、測定流体が液体の場合は混入している気体を、また測定流体が気体の場合は混入しているドレンを各々完全に除去しないと大きな測定誤差要因になる。

このため、ドレン／ベント・プラグを利用して十分にドレン抜き、あるいはガス抜きを行う必要がある。また、このドレン抜き・ガス抜きは、運転当初のみならず、運転中において適時行う必要がある。

次にドレン抜き・ガス抜きの際に注意すべきことは、ドレン・プラグのドレン抜き穴の位置に十分注

意すべきである。もし、ドレン抜き穴が作業者の方向を向いていると、排出されたドレンまたはガスが人体にかかり、人身事故をおこすおそれがある。

それ故に、ドレン／ベント・スクリュウをゆるめるときは、まず、そのドレン抜き穴の位置を確認してから、スクリュウをゆるめなければならない。また、ドレン／ベント・スクリュウは徐々にゆるめる方がよい。

とくに、高温、劇薬流体・有毒ガスなどを取り扱う場合には、くれぐれも注意を要する。また、これらの液体が有害物質などの場合によっては、大気放出ではなく適切な場所への回収が必要である。

① 気体流量の測定時のドレン抜き方法

高圧・低圧側の元弁およびストップ弁が閉、均圧弁が開の初期状態とする。

1）高圧・低圧側の元弁を開き、次に、わずかにストップ弁を開く。

2）ドレン／ベント・スクリュウをスパナでゆるめて、ドレンが完全に抜けるまで測定流体を抜く（図2.3.16参照)。

3）ドレン抜きが完了したなら、ドレン／ベント・スクリュウを締め、高圧・低圧側のストップ弁および元弁を閉じる。ただし、均圧弁は開いたままとしておく。

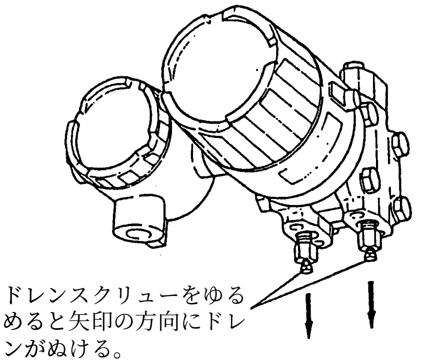


図2.3.16　ドレン抜きの方法
ドレンの出る方向を確認すること

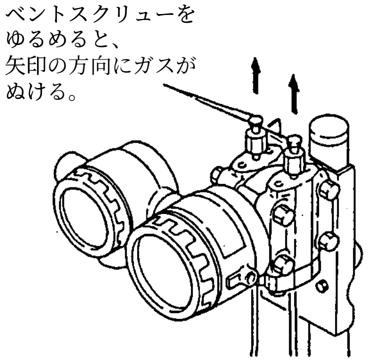


図2.3.17　ガス抜きの方法
ガスの出る方向を確認すること

② 液体流量測定時のガス抜きの方法

高圧・低圧側の元弁およびストップ弁が閉、均圧弁が閑の状態を初期状態とする。

1）高圧・低圧側の元弁を開き、次に、ストップ弁をわずかに開ける。

2）ドレン／ベント・スクリュウをゆるめて、ガスが完全に抜けるまで測定流体を抜く。

3）ガス抜きが完了したなら、ベント・スクリュウを締め、高圧・低圧側のストップ弁および元弁を閉じる。ただし、均圧弁は開いたままとしておく。

2.3.14　リストレーション

プロセス・ラインの流体を差圧発信器へ導入する手順は次の順で行う。元弁・ストップ弁が閉、均圧弁が開の状態を初期状態とする。図2.3.3参照

① 元弁を開ける。

② 徐々に高圧側ストップ弁を開ける。

③ 均圧弁を閉じる。

④ 徐々に低圧側ストップ弁を開ける。

⑤ 導圧配管および発信器本体より、圧力洩れのないこと確認する。

（圧力洩れが発見された場合は、直ちに運転を停止し、導圧配管および発信器本体内の圧力を抜き、圧力洩れを防く処置を行う）

⑥ 測定流体によっては、ドレン・ガス抜きの確認作業を行う。

2.4　面積流量計

プラントにおける計装機器の信頼性の維持・向上を図るために、最適な予防保全および改良保全を目指さなければならない。そのために、各計装機器のプラント運転上の重要性、経験的に把握される長期使用における経年劣化傾向、故障解析に基づく信頼性および使用環境条件なとをもとに長期的な保全計画を立て、主としてシャット・ダウン・メンテナンス（以下SDMという。）時に、オーバーホールなどの維持・補修対策を行っているのが現状である。

ここでは、面積流量計（外観図を図2.4.1に示す。）のその主要な作業について以下に述べることとする。

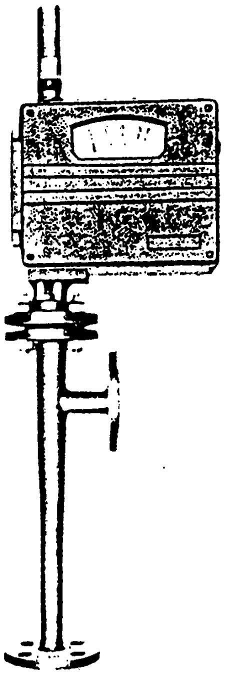


図2.4.1　面積流量計外観図

(1) アイソレーション

定期的にプラントを停止してSDMを実施する場合に、すべての計測・ループが機能停止状態であるとは必ずしもいえない。また、たとえ停止状態であったとしても測定流体の抜出し･洗浄がされてなかったり、 不完全だったりすることもある。

したがって､作業の着手前に客先との十分な連絡を取り合った上で、オーバーホールなど維持･補　修をする対象計器を間違えることなく、 安全に取り外すため準備をする必要があり、およそ次のような作業をしなければならない。

① 対象計器の確認

作業指示書などで今回のSDM対象計器であることを確認するとともに、対象計器を識別するために識別票などを取り付ける。この識別票はオーバーホール終了後、対象計器を取り付ける際に間違わないようにするため、２枚用意して対象計器と取付配管の適当な所の双方に取り付ける。

② 機能停止確認【注】

対象計器の計測・制御ループが使用状態でないことを確認する。

③ 対象計器の動力源停止の確認【注】

対象計器の動力源が停止状態であることを確認する。(空気式の場合は供給空気弁の閉止、電気式の場合は電源スイッチの切断を確認する。)

④ 測定流体の煙抜き・液抜き確認【注】

送液ポンプの停止、計器前後弁の閉止、液抜き弁の開放および危険物流体の場合の洗浄を確認する。また、流路が生きていてバイパス・ラインが設置されている場合は、バイパス・ライン側への切替の確認をすること。

【注】これらの処置は客先で実施することが原則である。したがって、未処置である場合は客先担当者にその旨連絡し、処置を依頼するか指示を受けること。

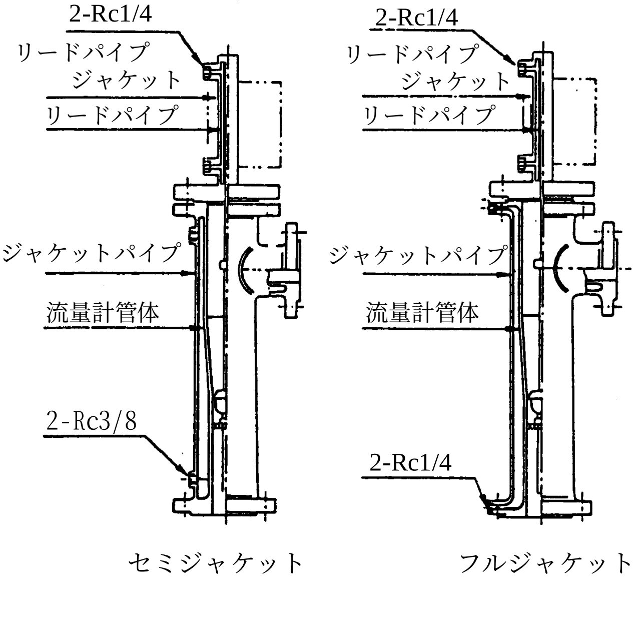


図2.4.2　ジャケット構造図

(2) 取外し

取外しに際して留意することは、作業者の安全、環境汚染防止および取り外す計器の破損防止などである。

とくに、凝固性、高粘度流体の温度降下による凝固、固着などを防止するためにジャケット構造（図　2.4.2に示す。）の面積流量計が使用されている場合があるが、プラントの運転は停

止し、液抜き、洗　浄などが実施されていてもジャケットに流れる蒸気や温水は生きていることがあり得るので、作業開　始時に確認することが、火傷防止上大切である。

以下、取外作業の手順について述べる。

① 対象計器の確認

アイソレーションの際に取り付けた識別票で、取り外す対象計器であることを確認する。

② 空気配管あるいは電気配線の取外し

空気式の場合は、空気配管を取り外し、計器側および空気配管側の双方に異物が入り込まないようにビニール・テープなどで保護する。

電気式の場合は、取付けの際の結線時に配線間違いをしないように、エフなどを取り付けた上で電気配線を解線し、計器側および電気配線側の双方にビニール袋などで防水処置をする。

③ 合いマーク入れ

取付けの際に取付方向を間違えないようにするため、取付配管と対象計器本体の接続フランジに合いマークを入れる。

④ 計器の取外し

上下の接続フランジを切り離し、対象計器を取り外す。

危険性流体の残留物の飛散が想定される場合は、下部フランジから先に切り離す方が安全である。その際、フランジ割り作業は緩やかに慎重に行うとともに、環境汚染防止を図るため容器を準備し流出液を受けること。また、メーカー・機種によっては、フロート軸保護のための短管が対象計器の下部に設置されていることがある。

この場合は、フロート軸を曲げないようにするため短管下部のフランジから切り離すこと。ジャケット構造の場合は、ジャケット配管の切離しも行わなければならない。この際、保温用スチームや温水が停止され、十分に冷却されていることを確認すること。作業の都合などですぐに所定の場所まで運搬しない場合は、取り外した計器は、周囲の工事状況を勘案して、安全かつ計器の破損の恐れのない所に仮置きすること。

⑤ 異物混入防止処置

対象計器側および配管側フランジに、それぞれガム・テープなどにより異物の混入防止処置をする。

⑥ ガスケットおよびボルト・ナットの処置

再使用しない場合でも、取付けの際に間違わないようにするためすべて持ち帰り、サンプルを対象計器に取り付けておくこと。

⑦ 取外し後の運搬

車両で運搬する場合、磁気結合以降のリンク機構などは振動に弱いのでビニール・テープなどで固定し、さらに、計器の下に柔らかいクッション材を敷く。

(3) 分解・点検・組立

面積流量計は、メーカ、機種、サイズなどにより、形状、寸法、構造などが違っている。
したがって、ここでは、図2.4.3に示すような某社のある機種の分解構造図を代表例として、分解・点検・組立の作業方法について説明する。

なお、その前に一般的な留意事項を次に述べる。

① 面積流量計は、構造が簡単であり、十分に耐食性のある材料を用いて製造することができるので、

フロートやテーパ管に異物が付着したりエロージョンでフロートなどが摩食されない限り、ほとんどノーメンテナンスで使用することが期待できる。したがって、SDM計画に組み込まれていることは、経時劣化あるいはプラント運転時の状況から何らかの異常が予測されている場合が多いので、作業に着手する前に、客先と分解・点検におけるポイントを打ち合わせて確認することが重要である。

② 分解作業に着手する前に、接液部内部の残液を水洗・スチーム洗浄などで除去すること。また、計器外部の付着液なども同様に洗浄すること。これは測定対象液が危険性のあるものである場合、特に重要である。

③　SDM時の作業場は、多種・多数の計器の分解・点検・組立作業をしているのが通常である。したがって、他の計器の部品などと混在しないよう、対象計器ごとに分解した部品などを入れる専用の入れ物を用意して、必ずその中に入れること。

④　分解・点検・組立作業において、計器を立てて実施する場合は、固定ブラケット・パイスなどでしっかりと固定して、計器の転倒による作業者の負傷や計器の破損を防止すること。

⑤　分解作業において組立状態が不明になる恐れがある場合は、組立状態を所定の用紙にスケッチしたり、適当な場所に合いマークを入れておくこと。

⑥　分解した計器の内部に汚れや付着物があるときは、取り除くこと。その際、計器の性能に影響を与えるほどのものである場合は、客先に見せたり写真に撮って提示して客先の判断・指示をもらうこと。

⑦　組立作業に際しては、⑤のスケッチや合いマークを参考にして正確に組み立てること。また、ガスケット類の挿入忘れやボルトナット類の締付けの　過不足、片締めがないように確認すること。

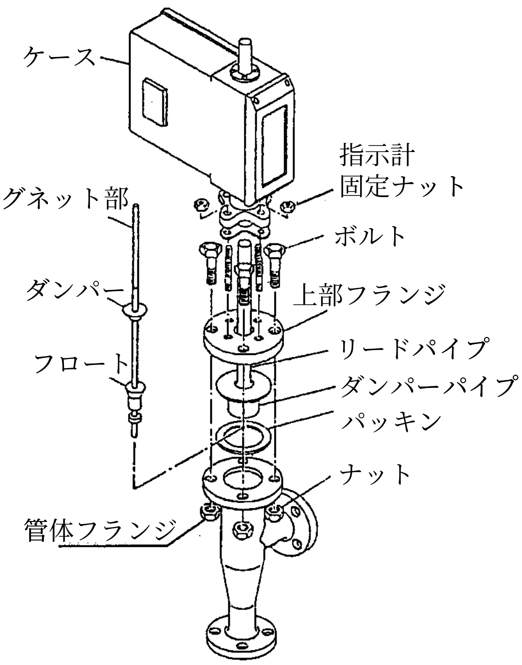


図2.4.3　面積流量計分解構造図

以下、図2.4.3をもとに面積流量計の具体的な分解・点検・組立の作業手順について述べる。なお、指示機構部、遠隔伝送機構部については、メーカーによりかなり相違があるので、これらの分解、組立てについては概要を述べる。

1）分　解

a）指示計を固定しているナット４個を外す。
指示計の方向確認合いマークを入れること。

b）指示計真っ直ぐにに上方に引き抜く。
リード・パイプを曲げないように注意して作業すること。

c）上部フランジと管体フランジを固定しているボルト・ナットを外す。

d）上部フランジを真っ直ぐ上方に引き抜く。
リード・パイプを曲げないように注意して作業すること。

e）リード・パイプを真っ直ぐ上方に引き抜く。（図2.4.3ではこのリード・パイプの下にダンパがあるが、付いてない形式のものもある。）
フロート軸を曲げないように注意して作業すること。

f）フロート軸組を抜き取る。
フロート軸を曲げないように注意して作業すること。また、フロート・エッジ鍔を傷つけないこと。

2）点　検

a）金属テーパ管
汚れ状況、腐食状況（エロージョン、コロージョン）を目視で確認し、汚れはウエスなどで清掃する。スケール付着の場合は溶剤で清掃する。使用する溶剤の種類は、客先担当者に確認すること。
測定精度に影響するような腐食、スケール付着は客先担当者に見てもらうか写真に撮っておくこと。

b）フロート軸組
フロート、ダンパ、マグネット部、リード・パイプおよびダンパ・パイプ内・外面の汚れ状況、腐食状況（エロージョン、コロージョン）、傷の有無などを目視で確認する。

汚れや異物付着は清掃する。清掃中にフロート軸を曲げたり、フロート・エッジ鍔を傷つけないようにすること。

フロート軸の曲がりやフロート・エッジ鍔に傷がないかを目視で確認する。

測定精度に影響するようなフロートの腐食、傷については客先担当者に見てもらうか写真に撮っておくこと。

C）指示機構部

リンク機構を目視で点検し、変形、磨耗、ガタのないことを確認する。リンク機構を外す場合は、リンク機構の接続部にマーキングをして外すこと。

目盛板の点検、汚れの清掃を行う。

目盛板を外す場合、位置ずれが生ずる恐れがある構造であれば、マーキングをすること。

ドア・パッキングの点検を行い、浸水の形跡あるいは浸水の可能性があれば、新品に交換あるいは補修すること。

d）遠隔伝送機構部（空気式）

フラッパを軽く押し上げ適正なワイヤでノズルを掃除し、フラッパを清浄布で掃除する。

パイロット・リレーの点検は、メーカによりその構造がかなり異なるので当該メーカの説明書によること。

パイロット・リレーを取り外し分解した場合は、ガスケットを新品に交換すること。

絞り機構を取り外し、適正なワイヤで絞り口を掃除する。

ノズル・フラッパ、パイロット・リレー内部などの汚れが激しい場合は、計装空気源対策の要否判断が必要であることから、そのむね、客先担当者に連絡すること。

点検のために緩めたり、取り外した箇所から空気漏れがないよう確実に締め付けること。

e）遠隔伝送機構部（電気式）

端子箱、電子回路部、筐体部などの結露、腐食、汚れなどを目視で確認する。

配線の断線、劣化状況などを目視で点検する。

絶縁テストを行う。（絶縁抵抗値はメーカ規定値以内であること。）

以上の点検の結果、異常が認められるものについては、客先担当者に連絡して、その処置について指示を仰ぐこと。（原因究明、対策などについては、客先で行われるのが通常である。）

各部ビス類の増締めを行う。

緩みの激しいものがある場合は、同機種で設置条件が類似の計器にも同じ現象が発生している可能性があるので、そのむね、客先担当者に遠路すること。

防水・防爆構造維持上から、蓋パッキンの点検を行い劣化の激しいものは交換する。

3）組立て

a）フロート軸組を管体に入れる。

管体の中央に正しく位置させること。

b）リーダ・パイプを入れる。

フロート軸を曲げたり、フロート・エッジ鍔を傷つけないようにするために、リード・パイプとフロート軸の同心性に注意して接触しないようにすること。

c）上部フランジを取り付ける。

リード・パイプを曲げないように注意すること。また、パッキンは必ず新品に交換すること。

d）管体フランジと上部フランジをボルト・ナットで締め付ける。

ボルト・ナットは新品に交換した方がよい。また、組付けに際しては、対角線上のボルト、ナットを順次、締め付け、片締めのないようにすること。

e）指示計を真っ直ぐに取り付ける。

合いマークを合わせ、指示計の方向を間違えないようにすること。

指示計内の追従マグネットとリード・パイプが接触しないように組み付けること。（追従マグネットとリード・パイプが接触した状態では、フロートの上下動に対して指示機構が正しく追従しない

可能性がある。）
リード・パイプを曲げないように注意して作業すること。
f）指示計固定ナット４個を締め付ける。
g）流入接続部フランジ側よりフロートを突き上げ、フロートがスムーズに動くことを確認する。
フロートの突き上げは手荒にせず、滑らかに少しずつ動かすこと。
h）流出接続部に仕切フランジ、流入接続部に空気圧を導入できる構造のフランジを取り付けて、所定の空気圧をかけて耐圧漏洩テストを行う。
テスト圧力は客先に確認すること。
高温・高圧で使用される場合は、管体フランジと上部フランジの締付けは運転再開後増締めすること。
i）空気式の場合、遠隔伝送機構部からの漏洩テストを行う。
点検時に取り外したり、緩めたりした部分を中心に実施すること。

以上、分解・点検・組立の作業要領について述べたが、作業品質の確保を図るとともにトラブル発生時などに、作業結果を客先に正確に提示するために、点検確認項目の良否の場合の処置、分解・点検・組立時の注意事項の遵守状況が分かるようなチェック・リストを使用して、作業結果を確実に記録し保管することが重要であるが、その書式については紙数の都合もあり、ここでは省略する。

(4) 調整・校正

具体的な調整・校正作業について述べる前に一般的な留意事項を次に述べる。

① 通常、SDM前の使用状態での状況を確認するために、分解・点検・組立作業に入る前の試験結果を求められることが多い。したがって、必ず受入検査を実施し記録を作成すること。当然のことながらこの場合は、精度的に不合格であっても調整の必要はない。

② 調整・校正作業に入る前に、対象計器の必要精度を確認し、その条件を満たす試験器（空気式の場合のデジタル・マノメータ、電気式の場合のデジタル・マルチメータ）を用意すること。

③ 試験器および調整・校正をする対象計器が電気式である場合は、電源を投入してから安定するまでのことを考え、５分以上のウォーミングアップを実施してから作業に入ること。

④ 調整をした時は、各調整ねじ（ゼロ、スパン、など）には、調整後動かないように保護対策として、ロック・ペイント（塗料など）を塗布すること。

⑤ 調整・校正時はその結果を適当なメモ用紙に書きとめ、作業終了後に正規の試験成績書（客先指定の試験成績書の場合もある）に転記すること。なお、転記ミスをなくすために、転記後自分自身で必ず読み合わせを実施すること。

以下に、面積流量計の調整・校正の具体的な作業方法について述べるが、その方法として、次の２つがある。

- 指示計の指針を。0%、25%、5。%、75%、100%に固定して出力値を調整する。
- 通常、水を用いた実流試験により流量指示値を調整し、その後に上記と同様に出力値を調整する。

実績的には圧倒的に前者の方法が多いが、客先に実流試験装置があり、流量測定精度を確保したいと考える場合に、後者を指定される場合がある。

したがって、ここでは実流試験（指示調整）と出力値調整の２つに分けて説明する。

まず、実流試験（指示調整）について述べる。

実流試験方法については、

- はかりによる方法
- タンクによる方法
- 基準となる流量計との比較による方法

があるが、ここでは図2.4.4に示すような、はかりによる方法について説明し、その他の方法については省略する。

1）処置前データの確認

a）対象計器を図2.4.4のように接続する。

ヘッド・タンクと転流器間を満水状態にする。

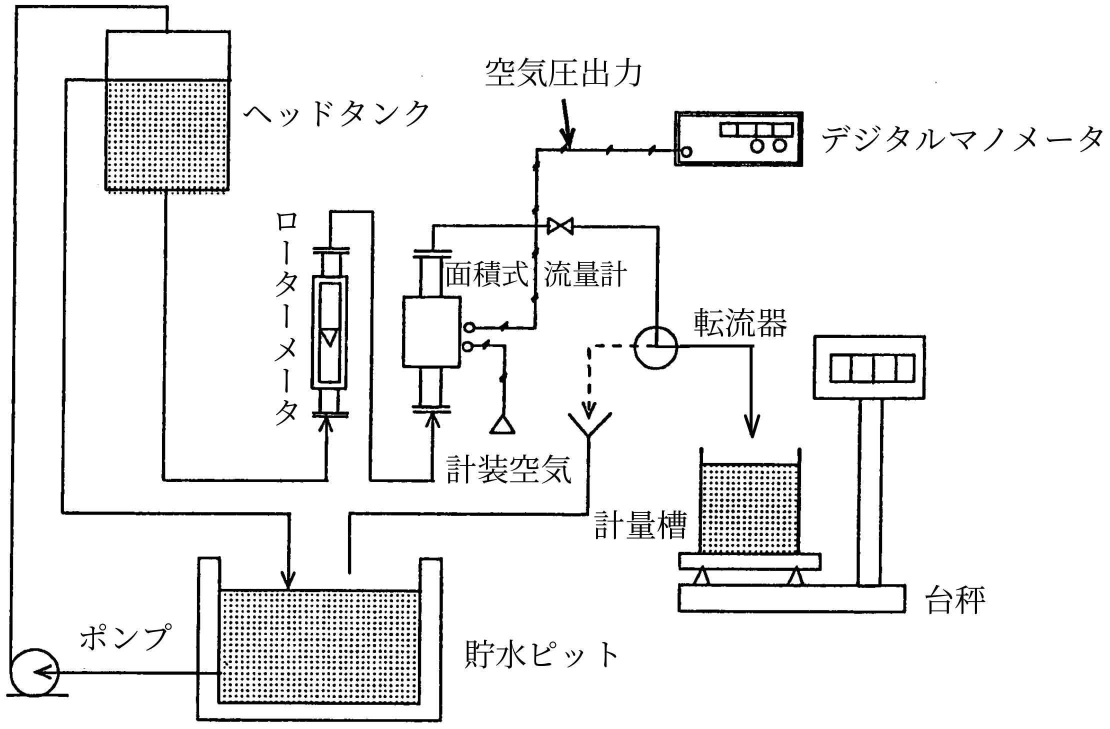


図2.4.4　実流試験接続図（空気式の場合）

b）指示計の指示範囲内における適切な３点以上の流量値で通水し、時計計測（６分間）をして計量槽に受け入れ、その水重量計量値を記録する。

試験点数について客先の指定がなければ、0%、30%、60%、90%の４点とする。

また、使用流体と水の密度が異なるので、必ず密度補正をすること。なお、粘度補正の必要性をメーカの取扱説明書により判断し、必要な場合は粘度補正をすること。

C)上記の結果から誤差を算出し、許容誤差以内であるかどうかで合否の判定をする。通常は±2.0%以内であるが客先に確認すること。

不合格である場合は、次の調整を行う。

2）調　整

a)通水していない時の指示計の指示値の誤差が、許容誤差以内に入るように指示機構のゼロ調整を行う。

b）指示計の指示が100%に合致する点で通水し、時計計測（６分間）して計量槽に受け入れ、その重量計量値から算出した誤差が、許容誤差以内に入るように指示機構のスパン調整を行う。

C)0%、100%の誤差がいずれも許容誤差以内に入るまで上記のゼロ調整、スパン調整を繰り返す。

d)「1）処置前データの確認」のb)、C）の要領で合否の判定を行い、合格して終了とする。

次に出力値調整について述べる。

図2.4.4は空気式の場合で示しているが、電気式の場合も基本的には同様であり、調整作業に使用される試験器類と基準出力信号が異なるだけである。基準出力信号は、空気式の場合20～100kPaであり、電気式の場合４～20mADCである。

1）処置前データの確認

a) 対象計器と試験器類を図2.4.4のように接続する。(電気式の場合は、所定の電源とデジタル・マルチメータなどの試験器類に変わる。)

b) 指示計の指針を0%、25%、50%、75%、および100%に合わせ各点でそのときの出力信号値を記録する。

遠隔伝送機構のリンク機構部にヒステリシスが存在する可能性があるので、上昇、下降の双方を実施すること。

試験点数は、別途客先の指定があればそれに従うこと。

c) 記録結果から誤差を算出し、許容誤差以内であるかどうかで合否の判定をする。

不合格である場合は次の調整を行う。

許容誤差は、通常±1.0%以内である。

2) 調　　整

a) 指示計の指針を0%に合わせ、その時の出力信号の誤差が許容誤差以内に入るようにゼロ調整を行う。

b) 指示計の指針を100%に合わせ、その時の出力信号の誤差が許容誤差以内に入るようにスパン調整を行う。

c) 0%、100%の誤差がいずれも許容誤差以内に入るまでゼロ調整、スパン調整を繰り返す。

d)「1) 処置前データの確認」のb)、C) の要領で合否の判定を行い、合格して終了とする。

(5) 取　付　け

取付けに際して留意することは、取り付ける対象計器の破損防止と適切な状態に取り付けることであり、次のような作業手順となる。

① 異物混入防止処置

対象計器の流入・流出接続口にガム・テープなどにより異物混入防止処置をすること。空気式の場合は、計装空気および出力信号の接続口にビニール・テープなどで保護をすること。

② 取付対象計器の運搬

車両で運搬する場合は、磁気結合以降のリンク機構などは振動に弱いのでビニール・テープなどで固定し、さらに、計器の下に柔らかいクッション材を敷くこと。

このビニール・テープは、取付終了後忘れずに必ず取り外すこと。

作業の都合で現場に仮置きするときは、損傷の危険性のない場所を選ぶこと。また、シートなどで雨養生すること。

③ 対象計器の確認

取り付けようとする対象計器が間違いないかどうかを、取り外す際に取り付けた識別票で確認すること。識別票は作業終了後取り外すこと。取り付けたままにしておくと目障りになるとともに、次回SDM時に混乱する可能性がある。

④ 対象計器の取付け

接続フランジの合けいマークを確認して、正しい方向に取り付ける。

ガスケットを実際に対象計器のフランジに合わせてみてサイズが適正かどうか確認すること。

①の異物混入防止処置ガム・テープを必ず取り去ること。

取り付ける相手側配管の内部に異物がないことを確認すること。

ガスケットが確実に入っていることを確認すること。

⑤ 空気配管あるいは電気配線のつなぎ込み

空気配管の場合は、銅管のシールリングを傷付けないようしっかりと銅管の先端を押し込み、袋ナットを締め付けること。

電気配線の場合は、取外しの際に取り付けたエフにより誤配線がないかを再確認すること。また、端子ビスの緩みはないかを確認すること。さらに、端子箱の蓋を確実に締め付けること。

(6) リストレーション

リストレーションの作業はおよそ次のようなものとなる。

① 動力源の活かし

空気式の場合は供給空気弁開、電気式の場合は電源スイッチを投入する。なお、客先担当者に実施してもらうのが原則である。自ら実施する場合はこ客先の承認を得て実施すること。

空気式の場合、空気配管接続部からの漏洩テストを実施すること。

② 遠隔伝送機構の機能確認（別途、ループ・テストを実施する場合は、この作業は不要である。）

指示計の指針を手で上下に動かし、受信計器側で確認する。なお、この作業も客先の承認を得てから実施すること。また、制御ループの場合は、不意に調節弁が動く可能性があるので、必ずマニュアル状態であることを確認してから実施すること。

2.5　容積流量計

2.5.1　保守

容積流量計は、流量計の中では高い精度を有し、精度を要求される取引用、課税用、プラントの管理用やブレンディング用等に多く使用され、取引用、課税用には検定が義務づけられている。

容積流量計は構造上、回転機器であり、ゴミなどのつまりで故障や、長時間使用することにより摺動部品が摩耗して故障したりする。日常点検でチェックを行い、故障を発見したら直ちに修理する。また、定期点検を行うことにより、長期間、精度よく保つことができる。

次に容積流量計の日常点検内容と故障対策について述べる。

(1) 日常点検内容

①規定の流量、温度、圧力で運転されていること。
②漏れがないこと。
③異常音がないこと。
④指針、カウンタがスムーズに回転していること。
⑤発信器が正常発信していること。

(2) 故障対策

①流量が流れない。
　計量部の分解点検を行う。
②流量は流れるが指針が動かない。または、指針がスムーズに動かない。
　計数部の分解点検を行う。
③積算パルスがでない。
　発信器の点検を行う。

2.5.2　構造

容積流量計は大別して計量部と計数部からなる。計量部の回転を磁気継手で計量部に伝達し、歯車で減速して計数部で表示する。計数部の付属品として、器差補正装置、自動温度補正装置、発信器がある。オーバル型とルーツ型の構造上の大きな違いは、回転子間のトルクの伝達をオーバル型は回転子の歯車で行うのに対し、ルーツ型は回転子の後部にある駆動歯車で行う。

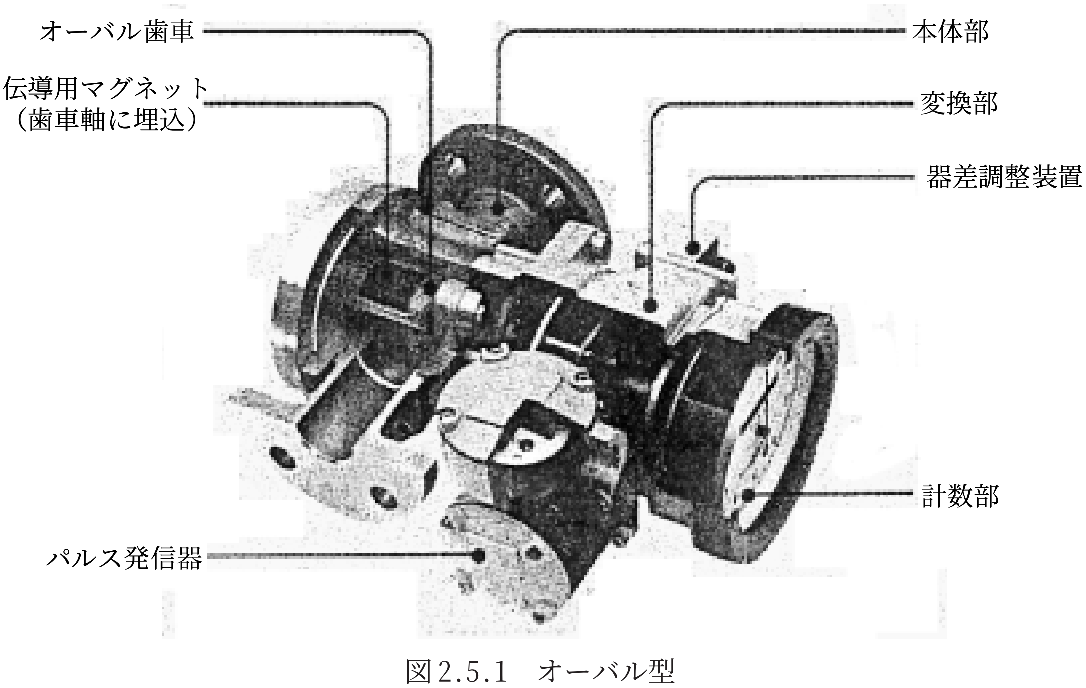


図2.5.1　オーバル型

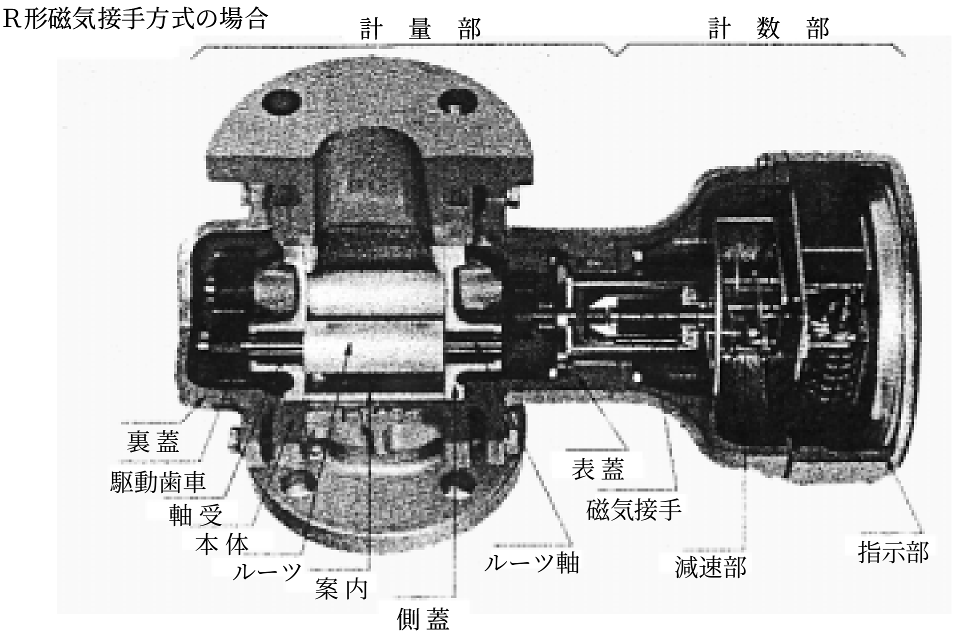


図2.5.2　ルーツ型

2.5.3　アイソレーション

アイソレーションの手順及び注意点について述べる。

(1) 制御ループが停止状態であることを確認する。

(2) バイパス運転（バイパス・ラインがある場合）または、弁の閉止を行う。

①弁の開閉は徐々に行う。

急激な流量変化は流量計に好ましくない。ボール弁等急に弁を閉止すると水撃作用を生じたりする。指針を見ながらゆっくりと弁の閉止を行う。

②日射や輻射熱の強い場所では、弁を閉止した状態で長時間放置しない。

弁の閉止により流量計は密閉状態となるので、流量計の温度上昇により思わぬ圧力上昇が生じ、流量計を破損することもある。

(3) 液抜き

容積流量計は回転子で上流側と下流側が仕切られているため、ドレン抜きでは十分な液抜きができない場合がある。ドレンプラグで十分な液抜きができない場合は、流量計を取り外す時に液抜きを行う。

(4) 配線の取外し

①通電を停止する。

②流量計の配線を外す。

配線番号は記録しておき、配線の取付け時に間違いのないようにする。外した配線はビニール・テープを巻く。屋外の場合は雨水防止の養生をする。

2.5.4　取外し

取外し作業の手順及び注意点について述べる。

(1) 対象計器を確認し、取外し作業の段取りを行う。

①作業員の手配及び工具の準備

流体が引火性で滞液している場合は安全工具（ベアロン工具）を用意する。

②滞液処理の有無の確認

③取外し方法の確認
　流量計の取外しに重機が必要か、必要であれば手配する。
④ KY（危険予知）活動を行い、安全対策を行う。

(2) 保温の取外し（保温がある場合）

保温材は再使用するのかを確認し、再使用する場合は復旧を考慮して、丁寧に取外す。再使用する保温材は雨水養生を行う。

(3) スチーム・トレースの取外し（スチーム・トレースがある場合）

スチーム・トレース元弁の閉を確認してから取り外す。

銅管を切断する場合は接続継手を取付けできるような箇所で切断する。

(4) 流量計の取外し

①取付姿勢の記録、または、合いマークをする。
②流体が滞液している場合は、フランジの下に液受皿を置き滞液を処理しながらボルト、ナットを外す。
③クレーンを使用する場合、クレーンの廻りにトラロープなどで立ち入り禁止札を表示し、クレーンの作業範囲に人が入らないようにする。
④玉掛けは有資格者が行う。また、ワイヤは事前に点検しておく。
⑤計数部には玉掛けワイヤは掛けない、掛けると破損する。
⑥流量計フランジと配管フランジにはゴミが入らないようにガム・テープを張る。

(5) 後片付け、清掃

①ガスケットは仕様を記録し、破棄する。
②ボルト・ナットは再使用できるかチェックする。ボルト・ナットを破棄する場合は仕様を記録しておく。
③取付作業が完了したら、工具の片づけ、掃除を行う。

(6) 運搬

流量計の取付姿勢が不安定にならないように角材等で固定して運搬する。

2.5.5　分解・点検・組立

(1)　分解

①分解作業の一般注意事項
　1) 取替えに必要なパッキン類は事前に準備する。
　2) 該当流量計の取扱説明書を用意し、分解手順に従って行う。
　3) 部品を紛失しないよう部品入れを用意する。
　4) 分解した部品毎に目視点検してから部品入れに入れる。
　5) 適切な工具を使用する。
　6) 組立てを考慮しながら分解する。必要なら合マークをする。
　7) 破損しないよう無理な力はかけない。
②一般機種の分解手順及び注意事項を述べる。

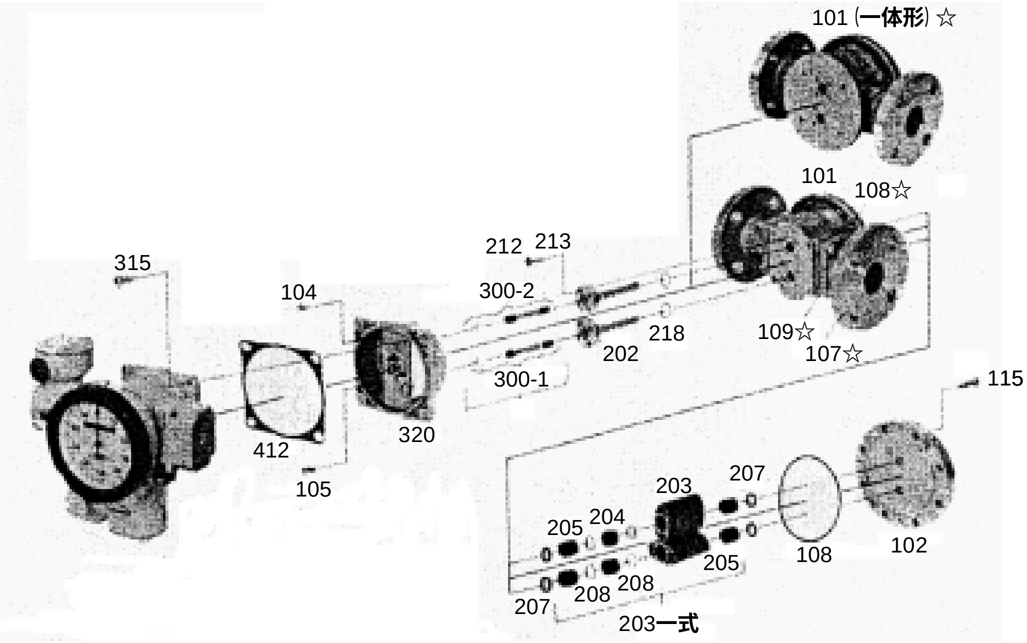
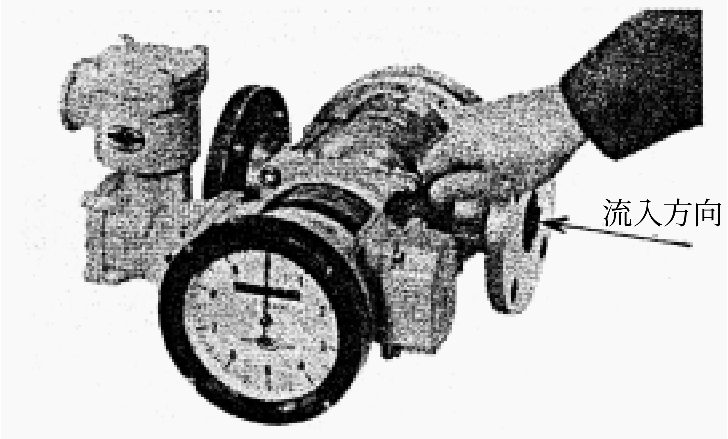


図2.5.3　標準形立体分解図

表2.5.1　標準形立体分解図部品表

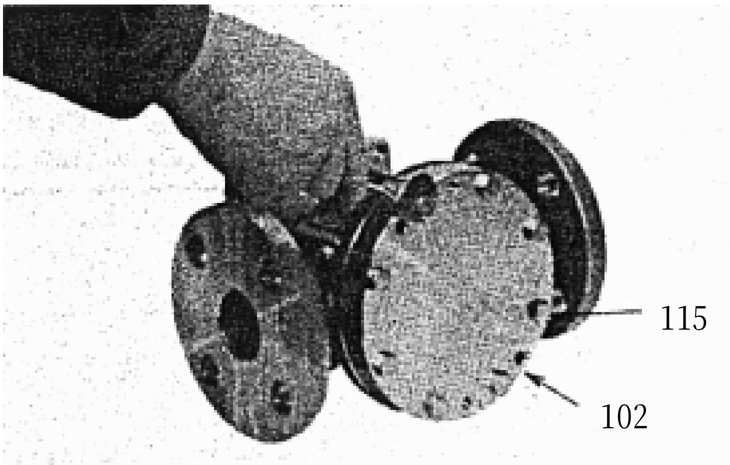
シンボル№	名　称	数量	備　考
101	本　体	1	
102	後　蓋	1	位置決めピン付
104	減速部取付用六角ボルト	2	
105	〃　　リーマねじ	2	
▲106	Oリング	1	
107	接続フランジ	2	☆
108	同上用六角穴付ボルト	8	☆
109	〃　　ガスケット	2	☆
115	後蓋締付六角ボルト	8（6）	（　）内は56形
202	回転子軸	2	
203	回転子	2	※203一式は203～206（セット品）
204	主動磁石	2	
205	回転子軸受	4	
206	スリップ止め	4	
207	スラストリング	4	
212	六角ボトル	8	M6×20
213	同上用座金	8	M6
▲216	Oリング	2	
300	従動磁石部	一式	＊（300-1）＋（300-2）
300-1	第1回転子用従動磁石部	一式	＊
300-2	第2回転子用従動磁石部	一式	＊
315	六角穴付ボルト	4	
320	減速歯車部	一式	＊
412	ガスケット	1	

伝達歯車を破損しないよう無理な力をかけず、丁寧に外す。



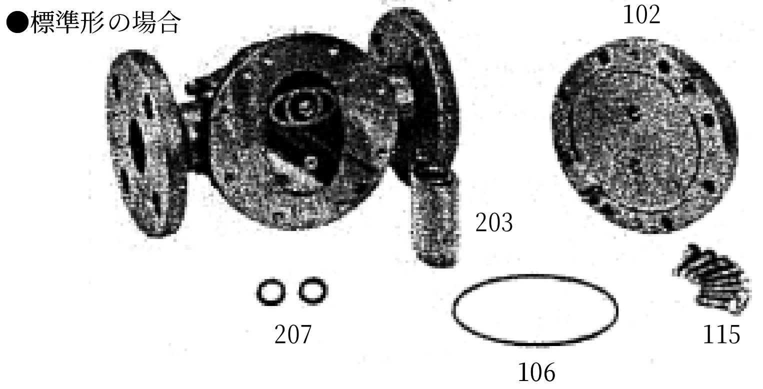
計数部の取り外し

回転子軸が曲がらないよう本体と平行に外す。捨てねじがある場合はこれを利用すると容易に取り外せる。



後蓋（端面板）の取外し

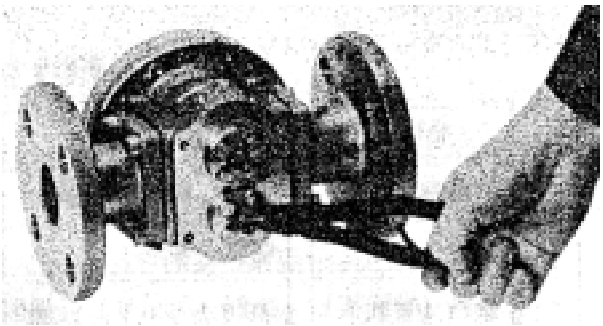
回転子の噛合位置の確認をする。上部回転子、下部回転子を確認する。

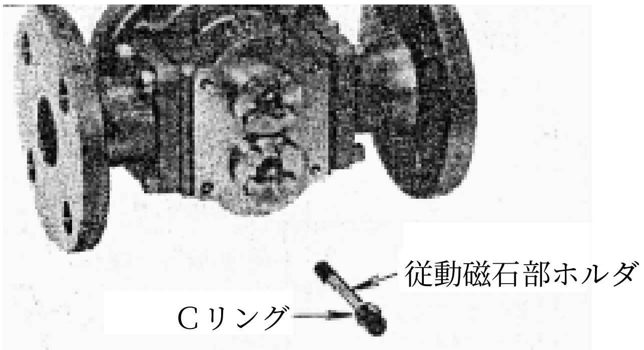


回転子の取外し

図2.5.4-1　分解手順

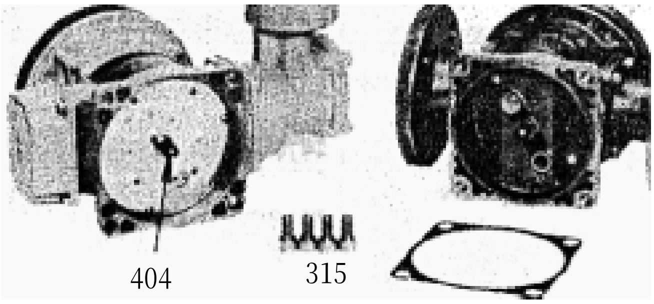
Ｃリングの取外しにはＣリングフライヤを使用する。

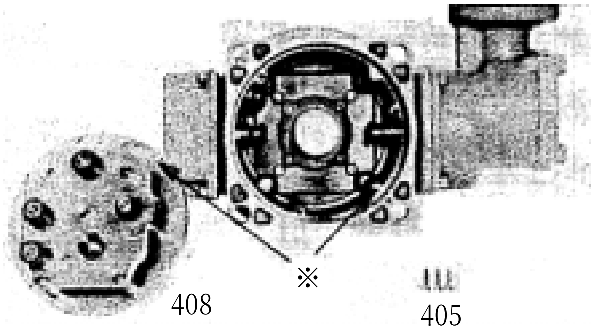




磁気継手の取外し

分解前に歯車を軽く回して指針がスムーズに回転するか確認する。





計数部の分解

図2.5.4-2　分解手順

（2）点検

①点検内容

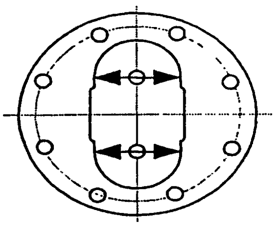
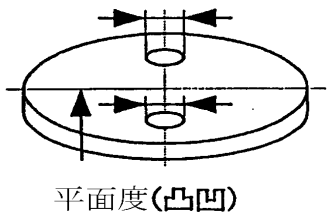
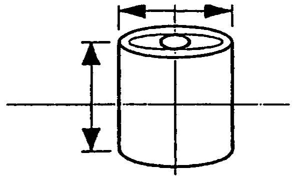
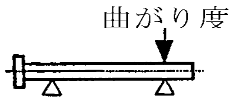
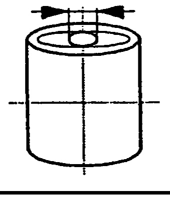
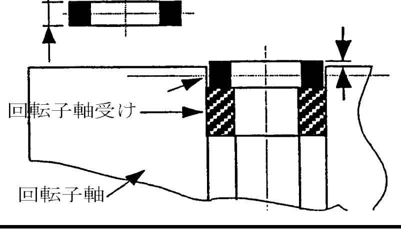
表2.5.2　点検表

<table>
<tr><th></th><th>点検箇所</th><th>点検内容</th><th>処置方法</th></tr>
<tr><td rowspan="7">計量部</td><td>計量部室</td><td>ゴミ、摩耗、損傷
腐食、変形</td><td rowspan="3">・傷があれば砥石や紙やすりで、きれいに落とし、円滑にする。
・摩耗、腐食、変形がある場合は、寸法測定を行う。
・機械加工が必要な場合は製作メーカに依頼する。</td></tr>
<tr><td>後蓋（端面板）</td><td>摩耗（カジリ）、損傷
腐食、変形</td></tr>
<tr><td>回転子</td><td>摩耗（カジリ）、損傷
腐食、変形
・本体内壁当たり
・端面板当たり</td></tr>
<tr><td>回転子軸</td><td>経年摩耗、損傷
腐食、変形
メッキはがれ</td><td rowspan="3">・摩耗、腐食、変形がある場合は、寸法測定を行う。
・部品交換</td></tr>
<tr><td>回転子軸受け</td><td>経年摩耗、損傷
腐食、変形</td></tr>
<tr><td>スラスト・リング</td><td>経年摩耗、損傷
腐食</td></tr>
<tr><td>磁気継手</td><td>摩耗、損傷
腐食、減磁</td><td>・異常があれば部品交換する。</td></tr>
<tr><td rowspan="4">計数部</td><td>減速歯車群</td><td rowspan="4">摩耗、損傷</td><td rowspan="4">・手で回してがたがなく、スムーズに回転するか確認する。
・洗浄、注油</td></tr>
<tr><td>器差調整機構</td></tr>
<tr><td>指針機構</td></tr>
<tr><td>カウンタ機構</td></tr>
<tr><td colspan="2">パルス発信器</td><td>パルスの確認
絶縁抵抗測定
（20MΩ以上で合格）</td><td>・テスタでパルスの確認をする。
・オシロスコープで波形の確認をする。
・異常の場合発信器を交換する。</td></tr>
</table>

②寸法測定

摩耗、腐食、変形がある場合は各部品の寸法を測定する。メーカの許容寸法内に入っているかを確認して部品交換や機械修理を行う。

表2.5.3　寸法測定表

部　品	測定箇所	内　容
計量室	第一回転子の内径 第二回転子の内径	
後蓋（端面板）	平面度（凸・凹） 回転子軸穴の内径	
回転子	長径 奥行寸法	
回転子軸	曲がり度	
回転子軸受け	内径	
スラスト・リング	厚さ リング座浮き寸法	

(3) 組立

①組立作業時の注意点

1) 部品は洗浄し、ゴミが入らないように行う。

2) パッキン類は全て新品に交換する。またパッキンの材質は間違いがないように確認する。

3) 流体に問題がないか確認のうえ、シート・パッキンには不乾性の液状パッキンを塗布する。Oリングにはグリースを塗布する。

4) 破損しないように、丁寧に作業する。

②組立手順

1) 計量部室に回転子軸を組み込む。

2) 回転子にスラスト・リングを組み込む。

3) 計量室に回転子を組み込む。

a・第一回転子、第二回転子の位置、及び噛合点を間違えないようにする。

b・回転子を組み合わせたら、スムーズに回転することを確認する。

4) 後蓋 (端面板) を組み込む。片締めしないよう注意して行う。

5) 従動磁石部を挿入し、Cリングで固定する。

a・第一回転子用と第二回転子用を間違えないようにする。

b・主動磁石と従動磁石の位相合わせを間違えないようにする。また、組み込んだ後で従動磁石だけを動かすと、磁石の位相が外れるので注意する。

6) 減速歯車部を組み込む。このとき、歯車の噛合いに注意する。

7) 後蓋 (端面板) を組み込む。片締めしないよう注意して行う。

片締めすると、回転子軸が曲がるおそれがある。

8) 流入側より軽く空気を吹き込み、回転子が回って、伝動歯車が回転することを確認する。

9) 最後に計数部を組み付ける。

2.5.6　調整・校正

容積流量計の器差試験は取引用、課税用の流量計では計量法、大蔵省通達で、その他の流量計ではJISで定められている。

また、容積流量計の器差試験方法は標準器を用いる実流試験で、試験装置が必要であり、流量計メーカーに整備、器差試験を依頼しているユーザと自社工場に試験装置を設備し、計量士の管理下で器差試験を行っているユーザがある。

器差試験の方法は日本流量計工業会規格とJISに詳細に記載されているので、本マニュアルでは試験方法の種類と最も簡単と思われる比較法について紹介する。

(1)器差試験方法の種類

表2.5.4　器差試験方法の種類

	種　類	標　準　器	指示値の読取方法
1	体積法	タンク	停止法、通液法
		体積管	通液方
2	ひょう量法	はかり及び密度計	停止法、通液法
3	比較法	流量計	停止法、通液法

標準器：計量法に定める標準器、またはこれと同等以上の性能をもつもの
停止法：試験液の流れが停止した状態で読み取る方法
通液法：試験液の流れている状態で読み取る方法

(2) 比較法の試験手順

①試験液の選定

1）試験液は、原則としてその流量計に表記された披計量物（実液）を使用する。

2) 実液を用いて試験を行うことができない場合は、粘度の類似した他の流体を用いる。この場合は、実液の粘度を挟む、粘度の近似した2液を用いて試験を行い、実液の粘度における器差を推定する方法もある。

②取込量および標準器の容量

取込量は、試験流量ごとに受験器の目量の100倍以上であること。なお、受験器の指示量をパルスの積算によって読み取る場合は、1000パルス以上とする。

③取付姿勢

流入方向を合わせ、取扱説明書などに示された姿勢に取り付ける。

④予備運転

予備運転は、受験器の試験最大流量で10分間以上試験液を流し、試験条件を安定させる。なお、この間試験液の漏れ、配管の脈動および流れの脈流を点検し、必要な場合は対策を施す。

⑤試験流量

1) 受験器に定められた流量範囲の上限および下限に近い2流量を含む2～5流量で行う。使用流量が明らかな場合は、それに近い1流量で行ってもよい。

2）試験流量の調節は流量計出口側に設置された弁で行う。

3）器差試験の間、流量指示計または、ストップ・ウォッチなどにより試験流量の確認を行う。

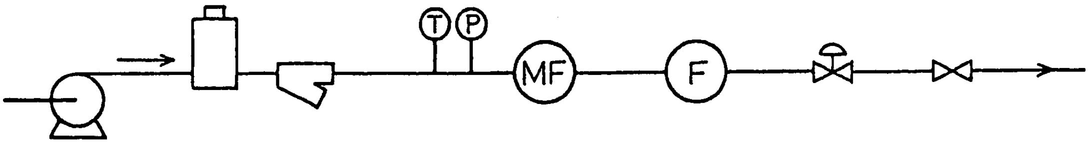
⑥測定回数

器差の測定は1流量につき2回測定する。

⑦温度および圧力の測定

試験条件を明らかにしておくため、試験液の温度および圧力を測定する。

(3)比較法（流量計による方法：停止法、通液法）による器差試験



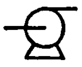
	受験器		気体分離器		バルブ
	標準流量計		ストレーナ		温度計
	ポンプ		流量調節弁		圧力計

図2.5.5　比較法の試験装置配管例

①所定の流量で通液する。
②受験器の指示値（I_1）および標準流量計の指示値く（Is_1）を同時に読み取る。
なお、停止法による場合は、受験器の出口側のバルブを閉じて読み取る。
③所定の量を通液した後、受験器の指示値（I_2）および標準流量計の指示値（Is_2）を同時に読み取る。なお、停止法による場合は、受験器の出口側のバルブを閉じて読み取る。
④必要な場合は、通液中に標準流量計の温度計の指示値を２回以上読み取る。
⑤器差を算出する。

$$E = \frac{I - I_S}{I_S} \times 100 + E_S$$

E：受験器の器差　　　%
I：受験器の指示量　　L
Is：標準流量計の指示量　L
Es：標準流量計の器差　%
器差は精密級で±0.2%、一般級で±0.5%とする。

(4)　器差調整

容積流量計の器差調整装置は、器差調整歯車を交換するタイプと段歯車で歯車比を変えるタイプがあり、器差試験の時に適正な値に交換または調整する。

①器差調整歯車を交換するタイプ
多数の交換歯車がメーカーで用意されているので、適正な歯車に交換する。

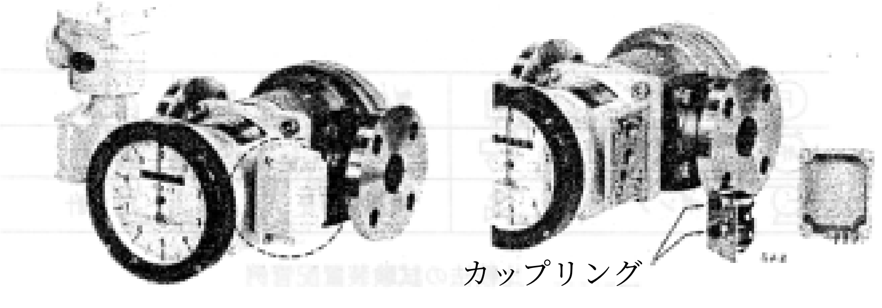
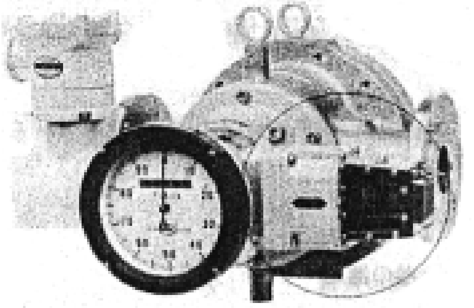


図2.5.6　器差調整歯車装置

②歯車比を変えるタイプ

粗調整段歯車と微調整段歯車で、器差を調整する。



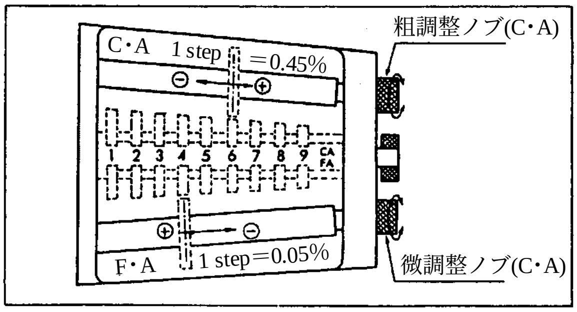


図2.5.7　連続器差調整装置

(5) 自動温度補正装置の校正

容積流量計の自動温度補正装置には、機械式と電気式があり、流体温度で容積換算演算を行う。石油の容積換算はJIS K2249による。

①機械式自動温度補正装置

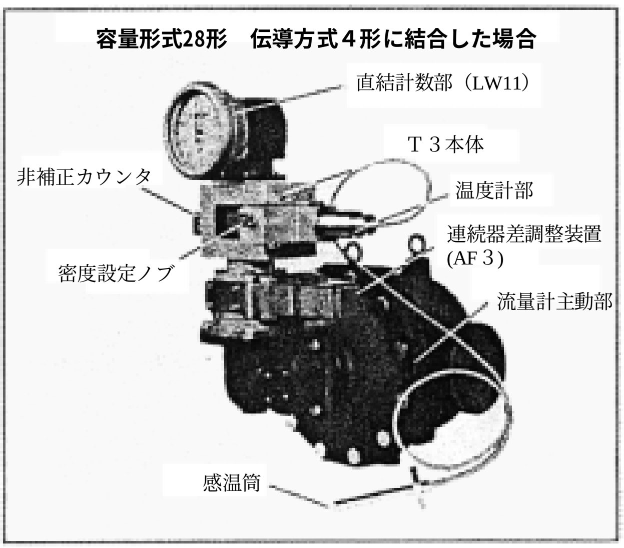


図2.5.8　機械式自動温度補正装置

②電気式自動温度補正装置

温度センサはJIS Pt100Ω A級

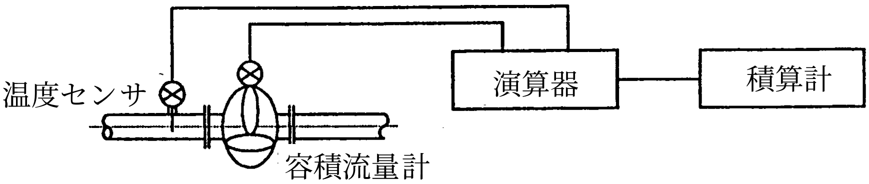


図2.5.9　電気式自動温度補正装置系統図

③自動温度補正装置の校正

1）流量計本体から計数部を取り外す。

2）感温筒、または温度センサを恒温槽に入れ温度設定を行う。温度設定は温度範囲の上限および下限に近い２温度を含む３温度で行う。

3）非補正カウンタに規定の流量がでるまで、計数部の歯車を手回しする。
補正カウンタの値を読み、器差の確認をする。器差は精密級で±0.2%以内とする。

4）校正は機械式では密度設定ノブで行う。電気式では演算器の演算数値を変更する。

2.5.7　取付け

取付作業の手順および注意点について述べる。

(1) 対象計器を確認し、取付作業の段取りを行う。

1）作業員の手配および工具の準備

2）ガスケット、ボルトナットの準備

3）取付方法の確認
流量計の取付けに重機が必要か、必要であれば手配する。

4）KY（危険予知）活動を行い、安全対策を行う。

(2) 運搬

流量計の運搬姿勢が不安定にならないように角材等で固定して運搬する。

(3) 流量計の取付け

1）配管のフランジ面をきれいにする。

2）流量計フランジの養生は取付け直前に取り外す。

3）ガスケット、ボルトナットには焼付防止材を塗布する。

4）流量計本体にねじれをあたえるような無理な取付けは行わない。

(4) スチーム・トレースの取付け（スチーム・トレースがある場合）

銅管継手は漏れが確認できるように保温の外に出るように取り付ける。

(5) 保温の取付け（保温がある場合）

保温の中に雨水が入らないように施工する。

(6) 後片付け、清掃

取付作業が完了したら、工具の片づけ、掃除を行う。

2.5.8　リストレーション

リストレーションの手順および注意点について述べる。

(1) 配線の接続

1）ねじのゆるみがないように確実に接続し、誤配線がないか確認する。

2）端子箱の蓋締めで配線に傷をつけないように注意する。

3）電源を入れ、パネル表示器が表示するかを確認する。

(2) 予熱

スチーム・トレースが設置されている場合は、運転前にスチームを通し、十分に予熱を行い、流体の固化を防止する。

(3) 弁の開

1）入口弁を少し開け、配管の漏れを確認する。異常がなければ入口弁を全開にする。

2）出口弁を少し開け、指針がゆっくりとスムーズに動くことを確認し、しばらく低流量で運転する。
異常がなければ出口弁を徐々に開けて、定格流量にする。

3）パネル表示器が定格流量で表示していることを確認する。

2.6　調節弁

2.6.1　作業着手前準備

(1) 仕様の確認

対象調節弁の仕様確認を行う。

①型式と数量
②付属品の形式と数量
③作業に必要な図面、取扱説明書など
④特殊仕様の有無
⑤運転中の問題点の有無（内弁洩れ、振動、騒音など）
⑥保温材の有無（再使用の可否など）

(2) 作業方法と作業範囲の確認

作業方法と作業範囲の確認を行う。

①本体を配管から取り外して作業を実施するのか、本体は配管に取り付けたまま作業を実施するのか。
②本体のみの作業か、本体と駆動部を含む作業か。
③合いマークの打刻の可否（打刻を実施してよいか。許可されない場合、別の方法を確認）
④検査項目・検査方法の確認
⑤客先立会検査項目・立会者など

(3) 作業に当たる人員構成とスケジュールの確認

作業内容に基づき、作業人員構成とスケジュールの確認を行う。

(4) 作業に必要な工具類が揃っていることの確認

作業に必要な工具類などが揃っていることを確認する。

<table>
<tr><th colspan="2">作業内容</th><th>主な準備品</th><th>備　　考</th></tr>
<tr><td colspan="2">弁本体整備
駆動部整備</td><td>一般工具類、掃除具、
専用工具類</td><td>対象機器の形式、サイズに合ったものを準備する。</td></tr>
<tr><td colspan="2">重量物作業</td><td>吊り具（チェーンブロック、ワイヤなど）</td><td>点検を実施のもの。</td></tr>
<tr><td colspan="2">トルク管理</td><td>トルク・レンチ</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">動作確認</td><td>電気式
ポジショナ</td><td>定電流発生装置、
電流・電圧測定器</td><td rowspan="3">検定済試験器を使用する。</td></tr>
<tr><td>空気式
ポジショナ</td><td>デジタル・マノメータ、
入力用加圧装置</td></tr>
<tr><td>共通</td><td>エア・セット、
ストップ・ウオッチ</td></tr>
<tr><td colspan="2">塗装</td><td>塗料、刷毛、シンナ</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">写真撮影</td><td>カメラ、フィルム、
黒板、チョークなど</td><td>写真撮影を行う場合は事前に顧客担当者の許可を得ておく。</td></tr>
<tr><td colspan="2">配管などの漏洩検査</td><td>リーク・チェック液</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">ネジ/ガスケット/パッキン
再組付け</td><td>グリス、焼き付き防止剤
など</td><td></td></tr>
</table>

（5）交換部品の確認

準備した交換部品が、対象調節弁のものであるか種類（型番）、サイズ、材質、数量などを確認する。グランド・パッキンは必要数＋予備を準備する。

（6）安全対策

調節弁は重量物であり、常に危険を伴う作業であることを十分認識し、安全対策を確実に実施する。

①危険予知活動の実施
②作業合図の相互確認
③外部からの侵入者の防止策、立入禁止区域の確認
④作業者の安全具装備確認
　高所作業：安全帯、工具落下防止ひも
　時所作業：照明器具
⑤装置の運転状況（運転しているのか、停止しているのか）の確認

（7）設置場所の確認および作業場所の養生

客先担当者とともに設置場所などの現場確認を実施する。また、作業場所を決定し、必要な作業場養生を行う。

①作業場所の高低、広狭の確認
②足場の状況（グレーチング、コンクリート、砂利など）の確認
③上下作業はないか（上下作業が発生する場合には、客先担当者と相談し作業日程、時間などを決定する）
④安全通路の有無・確保
⑤グレーチング床、砂利足場：ビニール・シートをしく
⑥必要に応じ汚染防止養生を実施する。

2.6.2　アイソレーション

（1）銘板の記録

作業実施前最終確認として、対象調節弁の仕様書などに基づき仕様の確認を行う。

①銘板記載内容を照合・記録する。
②付属品の名称、型番、数量、それぞれの銘板記載内容を照合・記録する。
③ポジショナの設定（自動／手動位置など）を確認・記録する。
④手動ハンドルの設定（自動／手動位置、手動固定の場合の弁開度）を確認・記録する。
⑤駆動空気源設定圧力をゲージにて確認し、銘板記載値と照合・記録する。

以下のアイソレーション作業については、必ず客先担当者に操作・作業を依頼し、作業者が独断で実施しないこと。

（2）プロセス流体の遮断

①点検対象調節弁の前後弁を遮断する。
②弁内の残圧の有無を確認し、圧力が残っている場合は除去作業を客先担当者に依頼する。
③残液の有無を確認し、液が残っている場合は回収作業を客先担当者に依頼する。

特に残液に毒性があったり、危険物の場合には客先の取扱資格者が作業にあたる場合もある。また、残液温度が高い場合も処理方法に十分な注意が必要である。

（3）駆動空気源の遮断

（点検前データ採取を配管から取り外した後で行う場合）

駆動空気源の元弁を遮断する。

(4) 封水グランド水の遮断（封水グランド使用弁）
封水グランド水を遮断する。

(5) ジャケット蒸気または温水の遮断（ジャケット弁の場合）
①ジャケット蒸気または温水を遮断する。
②ジャケット内ドレンを排出する。

2.6.3　取外し
(1) 保温材の取外し
保温材を取り外し、適切な場所に保管する。

(2) 駆動空気源配管の取外し
（点検前データ採取を配管から取り外した後で行う場合）
①マーキングを行い、駆動空気源配管を外す。
②取り外した配管には、異物の混入を防止する目的でどニール・テープなどで養生を行う。

(3) 封水グランド水配管の取外し（封水グランド使用弁）
①マーキングを行い、配管を外す。
②取り外した配管には、異物の温人を防止する目的でビニール・テープなどで養生を行う。

(4) ジャケット蒸気または温水配管の取外し（ジャケット弁の場合）
①マーキングを行い、配管を外す。
②取り外した配管には、異物の混入を防止する目的でビニール・テープなどで養生を行う。

(5) 制御信号配線の切離し
制御信号の切離しに際し、装置等に影響が発生しないよう、制御機器側の処理を客先担当者に依頼する。
①インターロックの処理、調節計のモード設定（自動／手動モード）など
②制御信号配線を取り外す。（電気ポジショナの場合）
③取り外した配線は絶縁テープで養生し「＋」「－」の極性がわかるようにマーキングを行う。（電気ポジショナの場合）
④マーキングを行い、配管を取り外す。（空気式ポジショナ／ポジショナなしの場合）
⑤取り外した配管には、異物の温入を防止する目的でビニール・チーフなどで養生を行う。
（空気式ポジショナ／ポジショナなしの場合）

(6) 付属機器類配線の切離し
客先に電磁弁、リミット・スイッチなど付属品類への電源供給を停止してもらう。
①テスタなどの電圧測定器にて電源供給が完全に停止していることを確認する。
②配線を取り外す。
③取り外した配線は絶縁テープで養生し「＋」「－」の極性がわかるようにマーキングを行う。

(7) 本体の取外し
荷重に合った吊り具を選定・使用し、有資格者が正しい玉掛法を実施する。
①配管／調節弁間フランジに、客先が承認した方法で合いマークを印す。

②吊り具を掛け配管フランジ取付ボルト・ナットを取り外し、所定の作業位置まで移動させる。
③吊り具のワイヤが付属品などに当たり、損傷の起こらないよう注意を要する。
④配管側、調節弁フランジには異物の混入や損傷防止のため、養生を行う。

2.6.4　点検前データの採取

(1) 点検前弁座漏洩試験（整備場での引取作業の場合）

2・6・8項弁座漏洩試験手順に従い、弁座漏洩試験を実施する。

(2) 点検前耐圧試験（整備場での引取作業の場合）

2・6・9項耐圧試験手順に従い、耐圧試験を実施する。

(3) 点検用模擬入力信号装置の接続

データ採取を実施するため、模擬入力信号装置を接続する。

（電気式ボジショナの場合）

①定電流発生装置
②電流測定器
③駆動用空気源

（空気式ポジショナ／ポジショナなしの場合）

④入力用加圧装置
⑤圧力計
⑥駆動用空気源

(4) 駆動部気密試験

駆動部に供給空気圧力を印加し、ダイヤフラム接合部、配管接続部にリーク・チェック液をかけ、漏洩の有無を確認・記録する。

(5) 点検前弁閑度の測定

０、25、50、75、100％開度の模擬入力信号を与え、弁開度目盛板指示値を記録する。（０→＞100％、10→０％の両方向）なお、客先指定の測定点がある場合にはそれに従う。

(6) 各付属品設定値の測定

エア・ロック弁、ロックアップ弁、パイロット弁なとの設定値確認として、動作空気圧カを変化させ、その動作点と復帰点を確認・記録する。

(7) リミットスイッチ設定値の潮定（リミット・スイッチ使用の場合）

リミットスイッチの端子に抵抗測定器を接続し、入力信号を徐々に変化させたときの接点のON／OFF点における弁開度を確認・記録する。

(8) 全ストローク作動時間の測定

以下の手順で、全ストローク作動時間の測定を行う。ただし、客先指定の測定方法が規定されている場合には、それに従うこと。

①入力信号を一気に変化させ、弁全開→全開作動時間を測定し、記録する。（開度指示ポインタが動き始めた時点から、100％目盛を通過するまでの時間をストップ・ウォッチで計測する）
②入力信号を一気に変化させ、弁全開→全開作動時間を測定し、記録する。（開度指示ポインタが、100％目盛を通過した時点から０％開度までの時間をストップ・ウォッチで計測する）
③複数回これを繰り返し平均値をデータとする。

2.6.5　外部点検

（1）外観損傷有無の確認

外観上、著しい腐食、破損、部品の欠落、塗装のはがれなとがないかを確認・記録する。

（2）流体の漏洩跡有無の確認

上蓋グランド部、上蓋ガスケット部からの流体漏洩跡がないかを確認・記録する。

漏洩跡があれば、スケッチまたは写真撮影（客先許可のある場合）により記録する。

2.6.6　分解・点検

（1）本体部と駆動部の分離（図2.6.1を参照）

①作業に先立ち、客先が承認した方法で合いマークを印す。

合いマーク箇所…本体／上蓋、上蓋／ヨーク、ダイアフラム・ケース（上）／ダイアフラム・ケース（下)、ダイアフラム・ケース（下）／ヨーク（ダイアフラム・ケース（下）を取り外す場合)、バルブ・プラグの流れ方向確認用バルブ・ステム下流側

②弁開度目盛板指示値が全開の位置から10〜20%程度上になるように空気圧を駆動部に加え保持する。(バルブ・プラグとシートが接触していないこと）

③ステム・コネクタを止めている六角ボルトをゆるめ、ステム・コネクタを外して（駆動部）ロッドとバルブ・ステムを分離する。

④ヨーク締付ナットをゆるめて外す。

⑤駆動部を持ち上げれば、本体部と駆動部が分離する。

駆動部サイズが大きいものは荷重に合った吊り具を選定・使用し、有資格者が正しい玉掛法を実施する。

⑥客先担当者に依頼し駆動空気源のストップ弁をしめ、遮断してもらう。(事前の打ち合わせにより作業者に操作が許可されている場合には、操作したストップ弁にビニール・テープなどでマークを付けておくこと）

（2）本体部の分解（図2.6.2を参照）

本手順①〜⑧は、調節弁一式がすでに配管から取り外され、分解することを基本に記載しているが、本体を配管上に残し、作業を実施する場合には、弁内の残圧の有無に留意し、作業者に危険の及ばないよう注意を要する。残圧の有無が不明な場合には、③上蓋の取外しを②の前に行い、残圧の除去を実施する。

①ルブリケータ付きの場合、分解に支障をきたすときは取り外す。

②パッキン・フランジを止めているパッキン、フランジ、ナットをゆるめる。

③上蓋を止めている六角ナット（1）をメガネ・レンチを用いて外す。

④上蓋を持ち上げて外す。

⑤バルブ・プラグが上蓋とともに抜けた場合、ステムを傷つけないようにプラグを回しながら上蓋から抜き取ること。

⑥ガイド・リングを外す。シートリングは本体にねじ込まれているため、専用工具を使用してシート・リングを外す。

⑦ガスケットを取り外す。

⑧異物混入、付着、傷防止のため本体開口部、取り外した内弁はウエスなどで養生のこと。

⑨パッキン・ホロアを取り出す。

⑩グランド・ボックス内を傷付けないよう注意し、グランド・パッキンを抜き出す。

（3）本体部の清掃・点検

①各部の清掃前確認を実施する。汚れがひどい場合には色、状態、部位、付着量を記録する。(写真撮影が客先から許可されている場合には、写真撮影を実施。）

②洗浄液、ウエスなどで汚れを拭き取り清掃する。汚れがひどく拭取りで除去できない場合は、サンドペーパ、ワイヤ・ブラシなどを使用し清掃を実施する。
③トリム部品の材料刻印が、銘板および仕様書に記載された材質と一致していることを確認する。
④各部品の点検内容とその処理方法については、表2.6.1を参照のこと。

(4) 駆動部の分解（図2.6.3、2.6.4を参照）
①マーキングを行い、空気配管および各付属品を取り外す。
②取り外した配管の両端には、異物の混入を防止する目的でビニール・テープなどで養生を行う。
③ステム・コネクタ、指針（ポインク）、ロック・ナットを外す。
注）指針（ポインク）を外す前に、指針（ポインク）の（駆動部）ロツドねじ部へのねじ込み点（ねじ山数）を確認・記録のこと。
④ダイアフラム・ケースのアイボルト（２本）を残して他のボルトを外す。
注）圧縮コイルぱねが圧縮されているため、アイボルトを先に外すと危険。
⑤アイボルトを交互に徐々にゆるめる。（圧縮コイルぱねが、きいていないことを確認する。）
⑥ダイアフラム・ケース（上）を外す。
⑦（正作動駆動部）ダイアフラム・ユニットとともに（駆動部）ロツドを上方に抜き出す。
⑧（正作動駆動部）圧縮コイルばねを取り出す。
⑨（逆作動駆動部）圧縮コイルぱねを取り出す。
⑩（連作動駆動部）ダイアフラム・ユニットとともに（駆動部）ロツドを上方に抜出す。
注）ダスト・シール損傷保護のため、（駆動部）ロッドのねじ部にビニール・テープなどで養生すること。

(5) 駆動部の清掃・点検
①各部の清掃前確認を実施する。汚れがひどい場合には色、状態、部位、付着量を記録する。（写真撮影が客先から許可されている場合には、写真撮影を実施。）
②ウエスなどで汚れを拭取清掃する。汚れがひどく拭取りで除去できない場合は、サンド・ペーパ、 ワイヤ・ブラシなどを使用し清掃を実施する。
③各部品の点検内容とその処理方法については、表2.6.1を参照のこと。

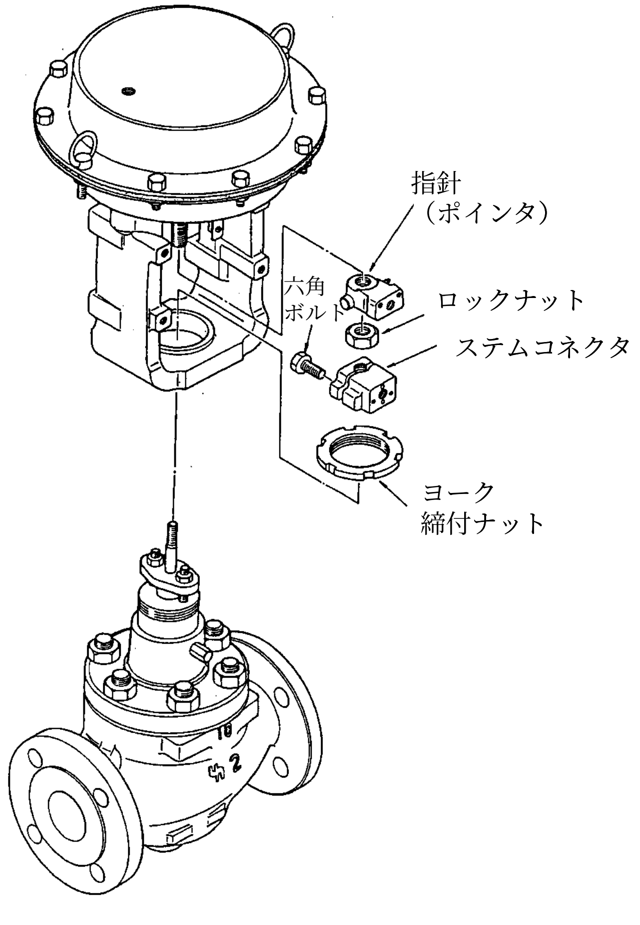


図2.6.1　駆動部／本体切離・組付図

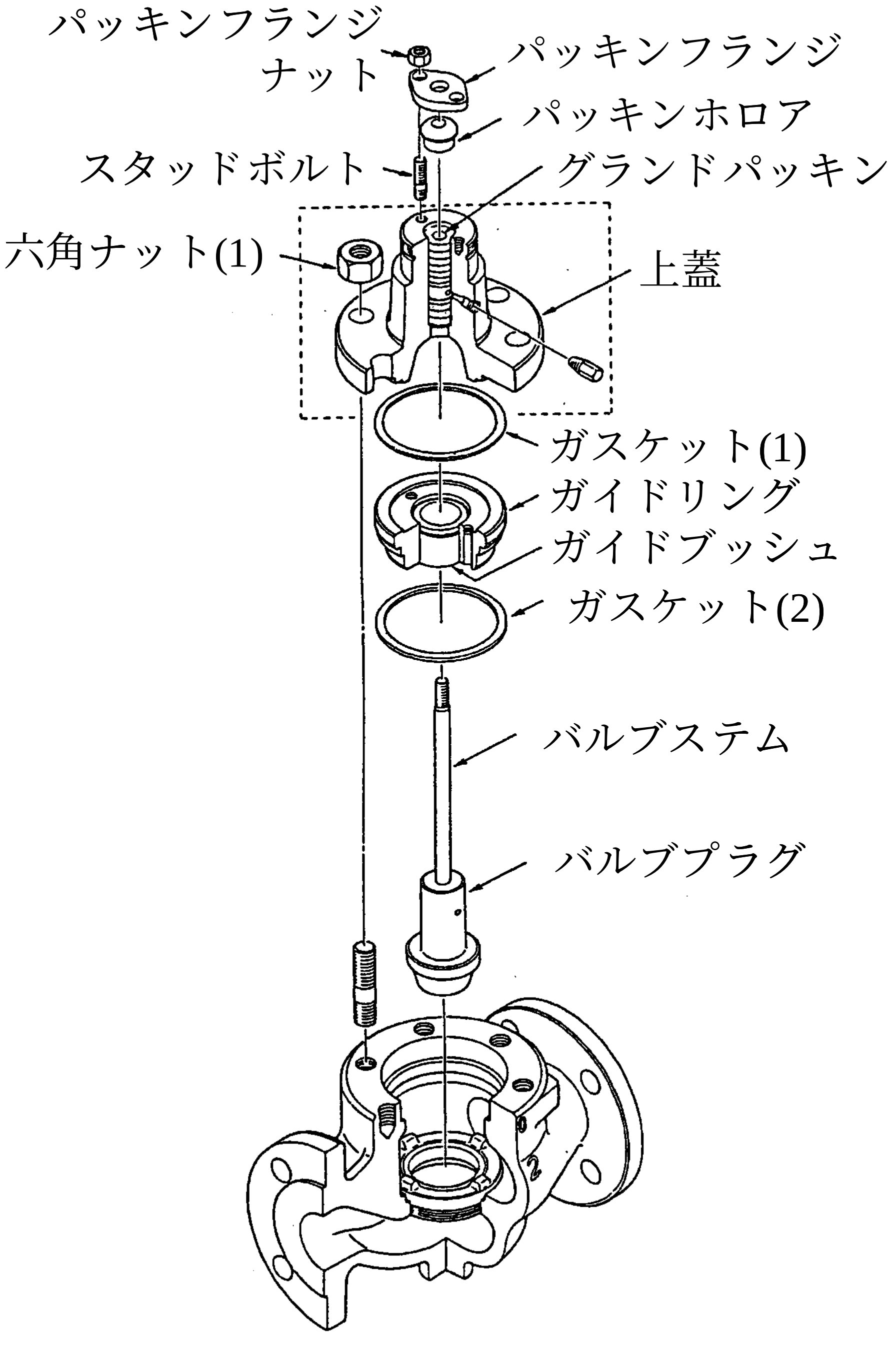
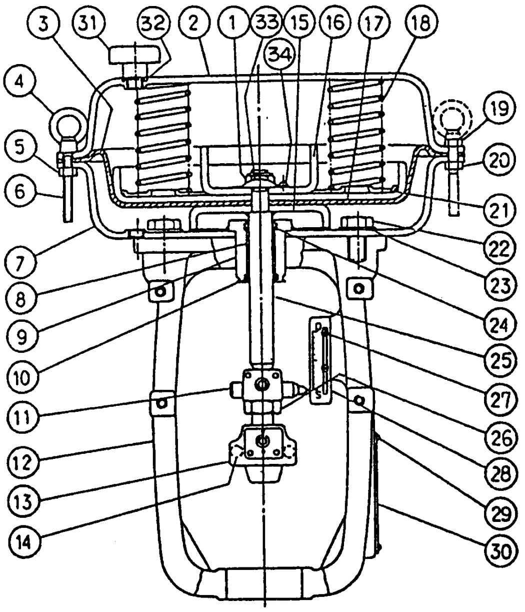
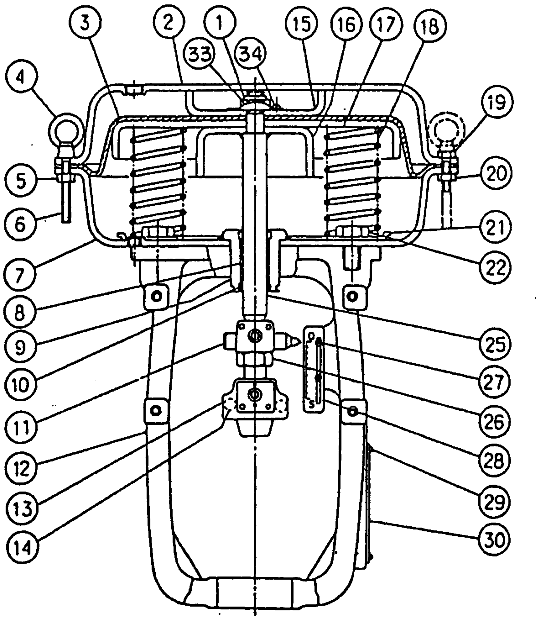


図2.6.2　グローブ単座弁本体分解・組立図



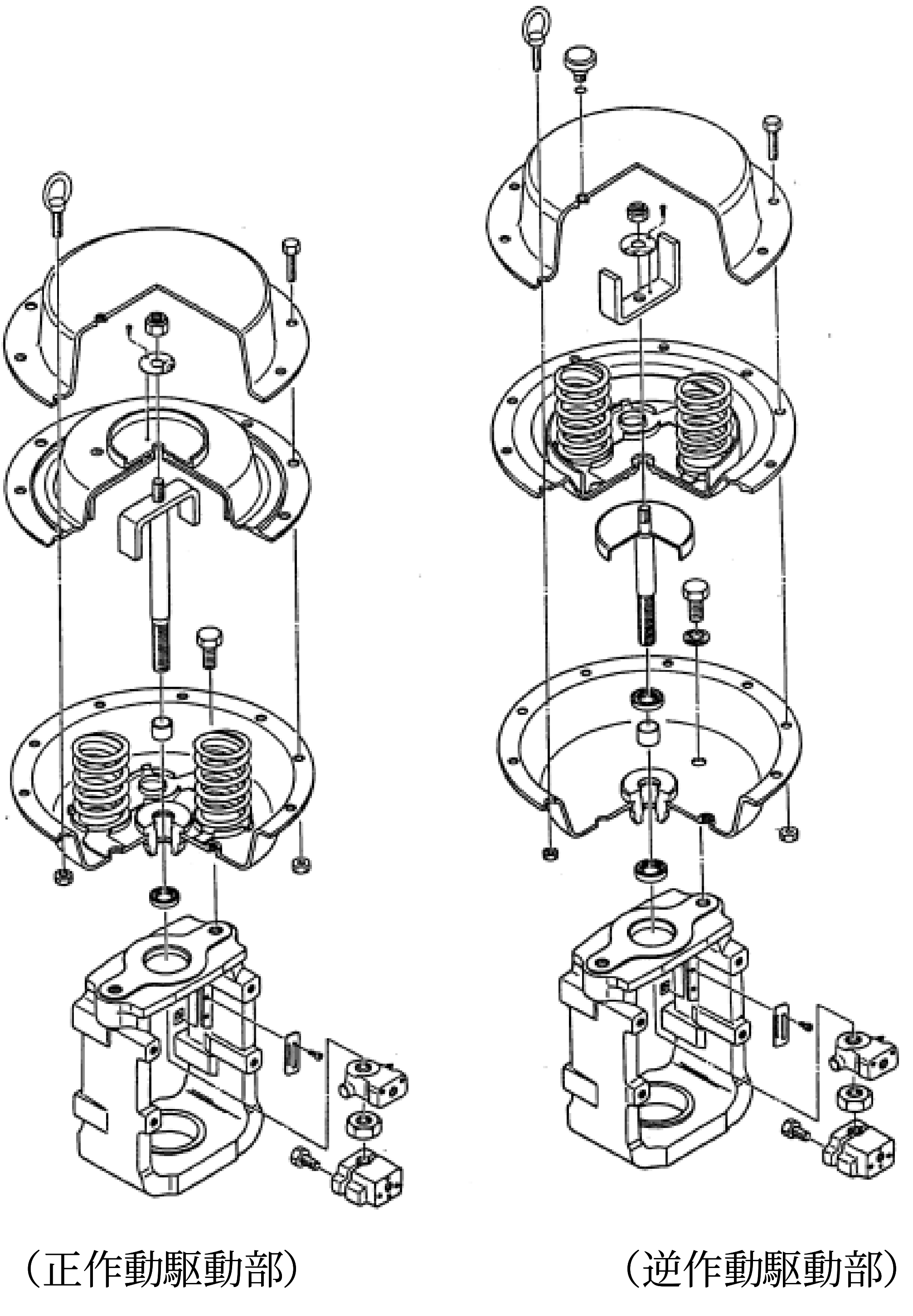
逆作動形



正作動形

№	部　品　名　称	材　　質	№	部　品　名　称	材　　質
1	弛み止めナット	S45C、SK5	18	圧縮コイルばね	SWOSM･B, SWOSC･V
2	ダイヤフラムケース（上）	SS41	19	ボ　ル　ト	S30C
3	ダイヤフラム	EPDM＋ナイロン66	20	ナ　ッ　ト	S20C
4	アイボルト	S20C	21	スプリングプレート	SPCC
5	ナ　ッ　ト	SUS304	22	ボ　ル　ト	S30C
6	通しボルト	SUS304	23	シールワッシャ	NBR＋SPCC
7	ダイヤフラムケース（下）	SS41	24	ロッド用パッキン	NBR
8	巻きブッシュ	SPCC、青銅、テフロン、鉛	25	ロ　ッ　ド	SUS304
9	軸　　受	S20C	26	ロックナット	S20C
10	ダストシール	NBR	27	トラス小ねじ ばね座金、ナット、スピードナット	SUS304／SUS304、SK5
11	指　　針	S25C	28	スケール	SUS304
12	ヨ　ー　ク	FC20	29	ドライブスクリュー	SUS304
13	ステムコネタタ	S25C	30	ネームプレート	SUS304
14	ステムコネクタボルト	S30C	31	キャップ	ポリエチレン
15	ダイヤフラム押え	SS41	32	Oリング	EPDM
16	ストッパ	SS41	33	穴付座金	SPCC
17	ダイヤフラムプレート	SS41	34	十字穴付タッピングねじ	S20C

図2.6.3　駆動部断面図・部品図



（正作動駆動部）　　　　（逆作動駆動部）

図2.6.4　駆動部分解・組立図

表 2.6.1　調節弁開放点検内容とその処置方法（1/3）

		点検箇所	点検内容	故障程度	処置方法
弁本体部	グローブ体	弁本体	内壁減肉の有無	軽度	肉盛り加工
				重度	本体交換
			配管取付フランジ面傷・腐食の有無	軽度	切削加工
				重度	本体交換
			ガスケットシール面傷・腐食の有無	軽度	切削加工
				重度	本体交換
			シートリングねじ込み部傷・腐食の有無	軽度	ねじ再加工
				重度	本体交換
		上蓋	ガスケットシール面傷・腐食の有無	軽度	切削加工
				重度	肉盛り／上蓋交換
			パッキン・ボックス内面の傷・腐食	軽度	バリ取り
				重度	上蓋交換
		バルブ・ステム	表面傷・腐食の有無	軽度	研磨
				重度	交換
			曲がりの有無	軽度	芯出処理
				重度	交換（強度再検討）
		バルブ・プラグ	バルブ・ステムとの接続ピンのゆるみ		ピンまたは ステム／ピン交換
			シート・リング当たり面傷・浸食の有無	軽度	摺り合わせ、切削加工
				重度	交換
			流量特性部の腐食・浸食（単座弁）		交換
		シート・リング	バルブ・プラグ当たり面傷・浸食の有無	軽度	摺り合わせ、切削加工
				重度	交換
			外周ねじ部傷・腐食の有無	軽度	ねじ再加工
				重度	交換
			座面傷・浸食の有無	軽度	切削加工
				重度	交換
		ソフト・シート	傷・変形の有無		交換
		ケージ （ケージ弁）	プラグ当たり面傷・浸食の有無	軽度	摺り合わせ、切削加工
				重度	交換
			ガイド部（内壁面）傷・浸食の有無	軽度	バリ取り
				重度	交換
		ガイド・ブッシュ （単座弁）	ブッシュ内壁面の傷・浸食の有無	軽度	バリ取り
				重度	交換
		スタッド・ボルト	傷・割れ・腐食の有無	軽度	ダイス掛け
				重度	交換

表 2.6.1　調節弁開放点検内容とその処置方法（2/3）

		点検箇所	点検内容	故障程度	処置方法
弁本体部	バタフライ弁	弁本体	内壁減肉の有無（メタルシート弁）	軽度	肉盛り加工
				重度	本体交換
			ライニング傷・変形の有無（ライニング弁）		ライニング交換または本体交換
			パッキン・ボックス内面傷・腐食の有無	軽度	バリ取り
				重度	本体交換
			ガイド部（軸受け部）傷・腐食の有無	軽度	バリ取り
				重度	本体交換
			配管取付フランジ面傷・腐食の有無	軽度	切削加工
				重度	交換
		弁軸	表面傷・腐食の有無	軽度	研磨
				重度	交換
			曲がりの有無	軽度	芯出処理
				重度	交換（強度再検討）
		弁羽根	傷・腐食の有無		交換
			コーティングの傷・はく離（コーティング弁）		交換
		軸受け	内面傷・腐食の有無		交換
	偏心軸回転弁	弁本体	内面減肉の有無	軽度	肉盛加工
				重度	本体交換
			パッキン・ボックス内面傷・腐食の有無	軽度	バリ取り
				重度	本体交換
			ガイド部（プレーン・ベアリング部）傷・腐食の有無	軽度	バリ取り
				重度	本体交換
			配管取付フランジ面傷・腐食の有無	軽度	切削加工
				重度	本体交換
		バルブ・ステム	表面傷・腐食の有無	軽度	研磨
				重度	交換
			曲がりの有無	軽度	芯出処理
				重度	交換（強度再検討）
		バルブ・プラグ	バルブステムとの接続キーのゆるみ		キーまたはプラグ／キー交換
			シートリング当たり面傷・浸食の有無	軽度	摺り合わせ
				重度	交換
		シート・リング	バルブプラグ当たり面傷・腐食の有無	軽度	摺り合わせ・研磨
				重度	交換
		シート・リテイナ	外周部傷・腐食の有無	軽度	切削加工
				重度	交換
		プレーン・ベアリング	表面傷・腐食の有無	軽度	バリ取り
				重度	交換

表 2.6.1　調節弁開放点検内容とその処置方法（3/3）

		点検箇所	点検内容	故障程度	処置方法
駆動部	ダイアフラム式	ダイアフラム	ゴム硬化、亀裂、変形の有無		部品加工
		ダイアフラム・ケース	内面の腐食	軽度	防錆処理
				重度	部品交換
		圧縮コイルばね	傷・割れ・腐食の有無	軽度	防錆処理
				重度	部品交換
		ロッド用パッキン（逆作動）	傷・亀裂・変形・摩耗の有無		部品交換
		ダスト・シール	傷・亀裂・変形・摩耗の有無		部品交換
ポジショナ		パイロット・リレー	ダイアフラムゴムの硬化、亀裂、変形の有無		部品交換
			給排気口の汚れ、傷の有無		清掃またはパイロット・リレー一式交換
		ノズル／フラッパ	汚れ、摩耗、傷の有無		清掃または部品交換
		ガスケット	ゴム硬化、亀裂、変形の有無		部品交換
		Oーリング	ゴム硬化、亀裂、変形の有無		部品交換
			潤滑剤の枯渇		潤滑剤の補給
		マグネットユニット	絶縁劣化の有無		ユニット交換
		フィードバック・レバー	傷・摩耗の有無		部品交換
		軸・軸受け	傷・腐食・摩耗の有無		部品交換
		リストリクション	詰まりの有無		清掃または部品交換
エア・セット		ダイアフラム	ゴム硬化、亀裂、変形の有無		部品交換
		フィルタ	汚れの有無		交換
		Oーリング	ゴム硬化、亀裂、変形の有無		部品交換

2.6.7　組付け

（1）駆動部の組付け

①ケース内部、圧縮コイルばね、ダイアフラム・ユニットにゴミ、付着物のないことを確認する。

②（正作動駆動部）圧縮コイルばねをスプリング・プレート上に垂直に置く。

③（正作動駆動部）ロッドにグリスを塗布し、ダイアフラム・ユニットとともにロッドを挿入する。

④（逆作動駆動部）ロッドにグリースを塗布し、ダイアフラム・ユニットとともにロッドを挿入する。

⑤（逆作動駆動部）圧縮コイルばねをスプリング・プレート上に垂直に置く。

注）ダスト・シールの損傷保護のため、（駆動部）ロッドのねじ部をビニール・テープなどで養生すること。

⑥合いマークを合わせてダイアフラム・ケース（上）を置く。

⑦アイボルトを左右均等に締め込み、ケースを仮締めする。

⑧ダイアフラム・ケースボルト・ナットを対角線上に締め付ける。

⑨指針（ポインタ）を分解前の位置にねじ込み、ロック・ナットを締め付ける。

（2）本体部の組付け

①弁本体内部にゴミなどの異物が入っていないことを確認する。

②ガスケットを置く。

③シート・リング・ネジ部に焼付防止剤を塗布し、手で入れられるところまでねじ込む。

④専用工具を使用して規定トルクでシート・リングを締め込む。

⑤バルブ・プラグ・シートの当たり面を以下の手順で確認する。

1）ガスケット（2）を挿入する。

2）バルブ・プラグ当たり面全周に光明丹またはベアリング・レッドを塗布する。

3）バルブ・プラグをシート上に置き、ガイド・リングを挿入する。

4）バルブ・プラグをシートに強く押し当てる。

5）バルブ・プラグ当たり面、シート当たり面が、全周均一に当たっていることを確認する。

6）光明丹、ベアリング・レッドを拭き取る。

シート・リング締付トルク（参考値）

サイズ	トルク（N-m）
1－1／2 B	254.8
2 B	382.2
2－1／2 B	509.6
3 B	637.0
4 B	784.0
6 B	1176.0
8 B	1470.0

⑥バルブプラグ・シートの当たり面が全周均一でない場合には、以下の手順で摺り合わせ作業を実施する。ただし、熟練を要する作業であり、事前の練習を確実に実施し作業に習熟しておくこと。

1)旧ガスケット（2）を挿入する。

2）バルブ・プラグ当たり面に摺り粉を少量塗布する。（当たり面以外には付けないよう注意のこと）

3）バルブ・プラグ、ガイド・リング、上蓋、パッキン・ホロアを組み込む。（ガイド・リング方式の弁でない場合には、上蓋、パッキンホロアを組み込む）

4）バルブ・プラグをシートに軽く当てながら同一方向に回転させ摺る。（強く摺りすぎると傷が付く場合があるので注意を要する）

5）バルブ・プラグおよびシート・リング当たり面の摺り粉をきれいに拭き取る。

6）目視で当たり面が均一であることを確認する。（光明丹またはベアリング・レッドによる当たり面の均一性の再確認も考慮する。）

7）当たりが均一でない場合には、2）～6）を再度実施する。

複数回、摺り合わせ作業を実施する場合には、その都度古い摺り粉は拭き取ること。

8）当たり面が均一になったら摺り粉を完全に拭き取る。

9）作業終了後、旧ガスケット(2)を取り外す。

⑦新しいガスケット(2)に焼き付き防止剤をうすく塗布し、本体に挿入する。

⑧バルブ・プラグをシートに乗せ、ガイド・リングを挿入する。

⑨ガスケット(1)に焼付防止剤をうすく塗布し、挿入する。

⑩本体・上蓋スタッド・ボルトに焼付防止剤を塗布する。

⑪本体と上董の合いマーク位置を合わせこゴミなど異物のないことを確認し上蓋をのせる。

注）上董を左右に回してみて確実にインローに入っているかを確認のこと。

⑫パッキン・ホロアを上蓋に挿入する。

⑬六角ナット（1）が上蓋に当たるまで手で軽く締める。

⑭バルブ・ステムを当たり面に接触しないよう少し持ち上げながら、90度づつ回転させ、常にバルブ・ステムがパッキン・ホロアの中心にあるかを確認する。

⑮片締め防止のため、ときどきステムを上下に動かし、軽く上がるか・どこかに当たっていないか、またバルブ・ステムがパッキン・ホロアの中心にあるかを確認しながら、六角ナット(1)を対角に徐々に締め付ける。（隙間ゲージを併用して本体・上蓋隙間を測定し、均等に締め付ける方法も有効である。）

⑯グラントパッキンを以下の手順で組み込む。（Vテフロンの場合）

1)底板を入れ、パイプなどを用い、底まで確実に挿入する。

2)Vテフロンにシリコン・グリースを塗布し、スプリング、テフロン受け、Vテフロン、テフロン押さえの順に挿入する。

3) パッキン・ホロア、パッキン・フランジを挿入する。

4)（パッキン・フランジ）スタッド・ボルトに焼付防止剤を塗布する。

5) パッキン・フランジ・ナットを挿入し締め付ける。

⑰ルブリケータ付きの場合には、ネジ部にシール・テープを巻きねじ込む。

ルブリケータのグリース増し入れ時は、ゴム手袋などを使用すること。（素手では触らないこと。）

上蓋スタッドボルト・ナット締付トルク（参考値）

スタッド・サイズ	トルク（N―m）
M１２	58.8
M１６	98.0
M２０	147.0
M２２	196.0
M２４	245.0
M２７	343.0
M３０	490.0
M３３	646.8
M３６	833.0
M３９	980.0
M４２	1176.0
M４５	1372.0

パッキン・フランジ・スタッド・ナット締付トルク（参考値）

ステムサイズ(㎜)	Vテフロン・パッキン	アスベストヤーン・パッキン	金属線入りアスベスト・ヤーンパッキン
φ10	0.8	2.94	6.86
φ13		4.90	11.76
φ16		7.84	17.64
φ20		9.80	24.50
φ25		14.70	39.20
φ30		19.60	49.00

（3）本体部と駆動部の組付け

①駆動部空気源にエア・セットを介して駆動部への仮配管を実施後、客先担当者に依頼し、甲動空気源のストップ弁を開けてもらう（事前の打合わせにより作業者に操作が許可されている場合には、閉止時に付けたマークを確認し操作を行うこと）

②上蓋の駆動部が組み付く面に焼付防止剤を塗布し、駆動部と上蓋の合いマークを確認の上、駆動部をまっすぐにのせる。（逆作動駆動部の場合には、途中でヨーク締付ナットを挿入できる位置で停止し、ヨーク締付ナットを挿入しておく。）駆動部のサイズが大きい場合、荷重に合った吊り具を選定・使用し、有資格者が正しい玉掛法を実施する。

③駆動部を確実にのせ、ヨーク締付ナットを締め付ける。

④駆動部にスプリング・レンジの空気圧力を印加し、指針（ポインタ）と目盛板の位置を合わせ、目盛板をビス止めする。0、100％空気圧カを交互に導入し、対応し　た開度を示すことを確認する。

⑤（逆作動駆動部）駆動部に供給空気圧カを印加し、オーバ・ストロークの確認を行う。

⑥（正作動駆動部への空気圧カをなくし、オーバ・ストロークの確認を行う。

⑦バルブ・ステムを下方に押し下げ、シート面に接触させる。

⑧駆動部への空気圧カを調整し、指針（ポインタ）を目盛板のS（SHUT）位置に合わせる。

⑨（駆動部）ロッドのネジ山およびバルプ・ステムのネジ山が噛み合う位置でステムコネクタを合わせて仮締めする。

⑩駆動部への空気圧カを調整し、バルブ・プラグがシートに接触していない位置に移動し、ステム・コネクタの固定用六角ボルトを増し締めする。

⑪弁閉止位置で指針（ポインタ）がS（SHUT）位置にくることを再度確認する。

2.6.8　弁座漏洩試験（整備場での引き取り作業の場合）

①仕様書などを参照して、該当調節弁の弁座洩れ量のクラスを確認する。

②洩れ量クラスに準拠した試験流体と圧力を選定する。

③耐圧・漏洩試験装置に調節弁を取り付ける。

④調節弁は全閉とする。（正作動弁には、全閉となる空気圧力を印加する。）

⑤規定に基づく試験を実施し、測定データを記録する。

表2.6.2　弁座洩れ量のクラスおよび最大洩れ量（IEC534-4-1982に準拠）

クラス	試験流体	試験方法	最大洩れ量	主な調節弁の形式
Ⅰ	規定せず：購入者とメーカー間の協議による			汎用バタフライ弁
Ⅱ	ＬまたはＧ	1	0.5X定格弁容量（Ｃｖ値）％	グローブ・ケージ弁
Ⅲ	ＬまたはＧ	1	0.1X定格弁容量（Ｃｖ値）％	グローブ・ケージ弁 （低漏洩仕様）
Ⅳ	L	1または2	0.01X定格弁容量（Ｃｖ値）％	グローブ単座弁
	G	1		
Ⅳ−S1	L	1または2	0.0005X定格弁容量（Ｃｖ値）％	グローブ単座弁 超低漏洩仕様）
	G	1		
Ⅳ−S2	G	1	$2X10^{-1}$X△Ｐ（Ｍｐａ）ＸＤ（ポート径：mm） １／ｈ	グローブ単座弁 超低漏洩仕様）
Ⅴ	L	2	$1.8X10^{-4}$X△Ｐ（Ｍｐａ）ＸＤ（ポート径：mm） １／ｈ	グローブ単座弁 メタル・シート遮断弁機能
Ⅵ	G	1	３Ｘ△Ｐ（Ｍｐａ）Ｘ（表7・11に規定する洩れ係数） １／min	ソフト・シート弁 （例ＰＴＦＥシート） 遮断弁機能

注記　・試験流体記号：Ｌは水、Ｇは気体（空気または窒素）
・試験方法　：１の試験圧力△Ｐは、0.3MPa｛3.06Kg／㎠｝～0.4MPa｛4.08Kg／㎠｝
２の試験圧力△Ｐは、購入者の仕様書に示される最大差圧
・規格本文中では「定格弁容量」と表現されているが、表では（Ｃｖ値）と追記した。
・「洩れ量の等級」の表現は、「クラス」とした。

表2.6.3　漏洩クラスVIに適用する洩れ係数および洩れ量

ポート径（mm）	洩れ係数	洩れ量 （１分当たりの気泡の数）
25	0.15	1
40	0.30	2
50	0.45	3
65	0.60	4
80	0.90	6
100	1.70	11
150	4.00	27
200	6.75	45
注記：・気泡数の測定は外径６mm、厚さ１mmの管を用い７±２mmの水中補給をする。 ・製品のポート径が表３の数値とその差が２mmを越える場合、洩れ係数は洩れ量がポート径２乗に比例するとして補正補完法を用いてもよい。		

2.6.9　耐圧試験（整備場での引き取り作業の場合）

①調節弁の圧力定格規格・圧力定格値に準拠し、試験圧力・試験流体を事前に硬認する。
客先からとくに指定のない場合には、各規格の規定に従い実施する。

②調節弁は全開で実施する。（連作動弁には、全開になる空気圧力を印加する。）

③規定に基づく試験を実施し、測定データを記録する。

表４　耐圧試験基準（参考値）

種　別	試験流体	試験圧力	保持時間	記　事
一般弁	水 （空気＊）	(1)または(2)の いずれか高い方の値 （1）定格圧力 ・ANSI、API JPI試験圧力 Class150…2.0MPa 300…4.1MPa 600…8.3MPa 900…12.4MPa 1500…20.7MPa ・ＪＩＳ 鋼製は呼び圧力の２倍 鉄製は呼び圧力の1.5倍 （2）使用圧力 最高使用圧力の1.5倍	10分 （空気は５分）	＊ 水圧で2.0MPa以下は最高使用圧の1.25倍の空気圧で行ってよい。 ただし、最低を0.69MPaとする。

2.6.10　ポジショナ、配管および付属品の取付け

(1) ポジショナの取付け（図2.6.5を参照）

①ポジショナに取付板を六角ボルトとバネ座金を使って取り付ける。

②コネクタ・ピン組立を六角穴付フランジ・ボルトを使ってポインタに仮止めする。

③仮止めしたコネクタ・ピン組立てのピンをフィードパック・レバーの長穴に通し、六角ボルトとバネ座金を使いヨーク座に取り付ける。フィードバック・レバーに付いているスプリングは、コネクタピンの上にくるように取り付ける。

④エアセットを通した空気を駆動部に接続し、指針（ポインタ）が目盛板の中央付近にくるように空気圧力を調整する。

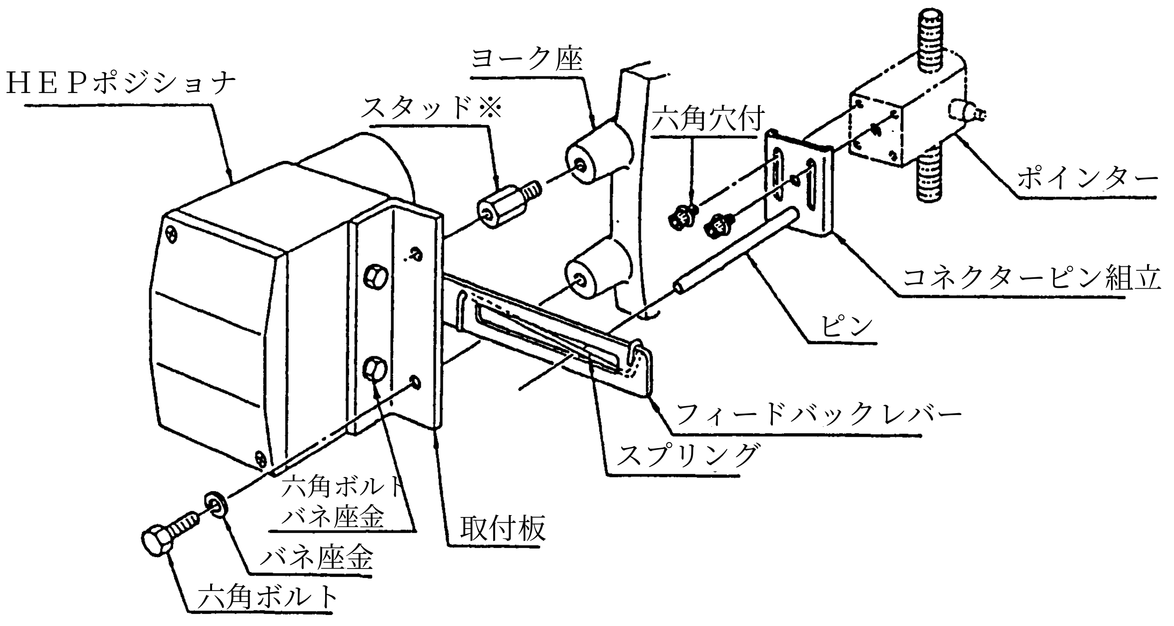


図2.6.5　ポジショナの駆動部への取付け

⑤フィードバック・レバーが水平になるよう仮り止めしたコネクタ・ピン組立てを上下させ固く締め付ける。

(2) 空気配管および付属品の取付け

ゴミなどの異物が入っていないことを確認し、取り外した配管、付属品を元の位置に取り付ける。

(3) 駆動部および配管の気密テスト

①気密テスト前にポジショナの蓋は締めておくこと。
②ポジショナ出力を供給空気圧力程度まで上げ、駆動部、空気配管、ポジショナの配管接合部にリーク・チェック液をかける。
③パイロットリレー・カバーを取り外し、パイロット・ガスケット面、各ダイアフラム接合部にリーク・チェック液を塗布する。
④各部からの洩れを確認・記録する。
⑤最後にリーク・チェック液は、ウエスなどで拭き取ること。

2.6.11　ポジショナの調整

①（電気式ポジショナ）入力端子に定電流発生装置を接続する。
（空気式ポジショナ）入力配管に入力用加圧装置を接続する。
②開度が中央にあるときに、フィードバック・レバーが水平位置になることを再確認する。
③ポジショナに入力レンジの25%の信号を入力する。
④ゼロ調整ねじを回し、指針（ポインタ）が25%開度を指すよう調整する。
⑤ポジショナに入力レンジの100%の信号を入力する。
⑥開度が合わない場合には、スパン調整ロックねじをゆるめてスパン調整ノブで調整する。
調整後スパン調整ロックねじを締め付ける。
⑦③～⑥を繰り返し、開度が許容値に入るよう調整する。
⑧入力レンジの０%以下、０%、25%、50%、75%、100%、100%以上の信号を加え、開度を確認し、記録する。（０→100%、100→０%の両方向）
　なお、客先指定の測定点がある場合には、それに従う。

⑨この時、出力ゲージの空気圧力も確認する。(駆動部のスプリング・レンジと合っていること)
⑩開度０％時の駆動部への出力空気圧力を確認する。
正作動駆動部…供給空気圧力
逆作動駆動部…０ MPa
⑪信号入力配線（配管）を接続する。

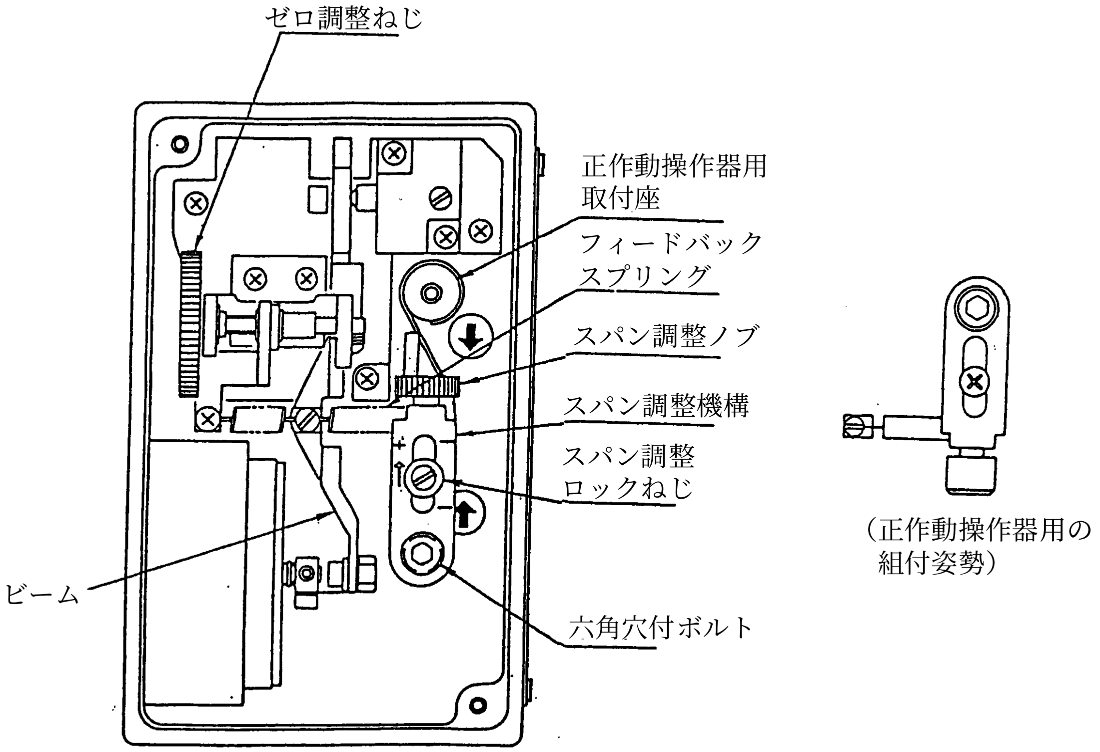


図2.6.6　電気式ポジショナのゼロおよびスパン調整機構（逆作動駆動部用の例）

2.6.12　機能確認
(1) 全ストローク作動時間の測定
以下の手順で、全ストローク作動時間の測定を行う。ただし、客先指定の測定方法が規定されている場合には、それに従うこと。
①入力信号を一気に変化させ、弁全開→全開作動時間を測定し、記録する。(開度指示ポインタが動き始めた時点から、100%目盛を通過するまでの時間をストップ・ウォッチで計測する)
②入力信号を一気に変化させ、弁全開→全閉作動時間を測定し、記録する。(開度指示ポインタが、100％目盛を通過した時点から０％開度までの時間をストップ・ウォッチで計測する)
③複数回、これを繰り返し、平均値をデータとする。

(2) 各付属品設定値の設定
点検前に採取したデータにより、エアロック弁、ロックアップ弁、パイロット弁などの設定値などを再設定する。動作空気圧力を変化させ、その動作点と復帰点を確認・記録する。

(3) リミット・スイッチ設定値の確認
リミット・スイッチの端子に抵抗測定器を接続し、入力信号を徐々に変化させたときの接点のON／OFF点における弁開度が点検前採取値であることを確認・記録する。
(4) マニュアル・ハンドルの動作確認（マニュアル・ハンドル付きの場合）
マニュアル・ハンドルを動作させ、全閉→全開→全閉とスムーズに動くことを確認する。

2.6.13　塗装の補修

客先の指定がある場合には、塗装のはがれ箇所を塗料で補修する。

2.6.14　配管への取付け

荷重に合った吊り具を選定・使用し、有資格者が正しい玉掛法を実施する。

①吊り具のワイヤが付属品などに当たり、損傷の起こらないよう注意し、所定の取付位置まで移動させる。

②所定の配管フランジ・ガスケットを中心からズレのないよう挿入し、配管フランジ取付ボルトナットを挿入の上片締めとならないよう対角上に締め付ける。

客先で締付トルクの規定値が設けられている場合には、それに従うこと。

2.6.15　リストレーション

(1) 配線・配管などの復旧

①制御信号配線・配管、駆動空気源配管、封水グランド水配管、ジャケット蒸気または温水配管、リミットスイッチ配線などを再接続・復旧する。

②客先に依頼し、遮断した電源、水、駆動空気源などを復旧してもらう。

(2) ループ・テスト

調節計を手動操作モードに設定し、出力を0%、25%、50%、75%、100%と変化させ調節弁開度が正しく動作するかを確認するループ・テストを行う。

(3) 保温材の復旧

客先から作業が依頼されている場合には、保温材の復旧を行う。

(4) 現場復旧の最終確認および後片付け

①点検前採取記録に基づき、作業前の状態に復旧されたことを最終確認する。

②作業現場が整理整頓されているかを確認する。ゴミなどは清掃のこと。

③工具類の員数確認を行う。(弁本体内部などへの置き忘れによる災害防止のため)

【参考文献・資料】

(1) 千本・花渕編:「計装システムの基礎と応用」1987年9月　オーム社
(2) 横河電機(株)編「工業計測ハンドブック」1991年7月　東京電機大学出版局
(3) 日本メンテナンス工業会編:「保全マニュアル・計装編」
1995年2月　日本メンテナンス工業会
(4)(社)日本計装工業会編:「計装工事マニュアル(プラント編)」第16版(改訂版)
1998年3月(社)日本計装工業会
(5)(社)日本プラントメンテナンス協会編:「自動制御システムのメンテナンス」
1999年1月(社)日本プラントメンテナンス協会
(6) 末続・他:「誰でも分かる計装設計」日揮(株)
(7) プロセス計装制御技術協会:「センサ技術、調節弁技術研修会テキスト」
(8)(社)日本電気計測工業会:「新編温度計の正しい使い方」日本工業出版(株)
(9) 横河電機(株):「温度測定」横河電機(株)技術トレーニングセンター
(10)(社)日本電気計測工業会:「差圧伝送器の正しい使い方」日本工業出版(株)
(11) 横河電機(株):「各種・圧力伝送器の取扱説明書」
(12) 長野計器(株):「アネロイド型圧力計・カタログ」
(13) 東京計装(株):「総合製品ガイド・1997年版」
(14)(株)オーバル:「容積流量計カタログ、取扱説明書」
(15) トキコ(株):「容積流量計カタログ、取扱説明書」
(16) 山武産業システム(株):「調範弁CV3000シリーズ取扱説明書」
(17) 日本工業規格
①JIS C 1602－1981「熱電対温度計」
②JIS C 1610－1981「熱電対用補償導線」
③JIS B 7552－1993「液体用流量計－器差試験方法」